

PERBEDAAN PROSES PENGAWETAN
MENGUNAKAN KARBON DIOKSIDA DAN
PENGARUHNYA TERHADAP SIFAT FISIK KAYU

OLEH :

A S R I N A
M 121 03 047



6-12-07
Fak. Kehutanan
1 cler.
H
55
SICR - KH 07

ASR
P.

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007



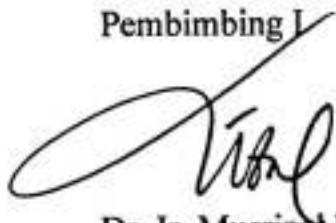
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Perbedaan Proses Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida dan Pengaruhnya terhadap Sifat Fisik Kayu.
Nama : Asrina
No. Pokok : M 121 03 047
Program Studi : Teknologi Hasil Hutan

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

Menyetujui,
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Ir. Musrizat Muin, M.Sc
Nip. 131 909 789

Pembimbing II



Ir. Bakri, M.Sc
Nip. 131 803 221

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



Tanggal : 6 Desember 2007

ABSTRAK

Asrina (M 121 03 047). Pengaruh Perbedaan Proses Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida sebagai Pelarut Pembawa terhadap Sifat Fisik Kayu di bawah bimbingan Musrizal Muin dan Bakri.

Saat ini telah dikembangkan metode alternatif pengawetan kayu yang menggunakan karbon dioksida (CO₂) sebagai *carrier solvent* (zat pelarut pembawa) yang diharapkan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa terhadap sifat fisik kayu nyatoh (*Palaquium* sp.) yang diawetkan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai Agustus 2007 di Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan, Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

Penelitian ini menggunakan kayu nyatoh dengan ukuran 1,5 x 1,5 x 15 cm dan bahan pengawet berupa silafluofen. Proses pengawetan yang digunakan dibedakan atas dua proses. Proses pengawetan pertama meliputi : penempatan satu sampel uji ke dalam tangki pengawetan, pemasukan 5 ml larutan bahan pengawet ke dalam tangki bahan pengawet, pengaliran CO₂ ke dalam tangki bahan pengawet yang telah diisi dengan bahan pengawet, untuk selanjutnya dialirkan ke dalam tangki pengawetan dan pemberian kombinasi suhu 15°C dengan tekanan 60 kg/cm², kemudian suhu tersebut ditingkatkan secara perlahan-lahan hingga mencapai suhu 35°C dan tekanan ± 80 kg/cm². Kondisi akhir tersebut dipertahankan selama 20 menit sebelum melepaskan CO₂ dari tangki pengawetan ke atmosfer. Sedangkan proses lainnya dimodifikasi dengan mempertahankan kombinasi suhu 15°C dan tekanan 60 kg/cm² yang digunakan sebagai tahap awal selama 30 menit sebelum ditingkatkan secara perlahan-lahan hingga mencapai suhu 35°C dan tekanan lebih tinggi dari proses pertama (± 110 kg/cm²). Kedua proses pengawetan

dilakukan dengan 10 kali ulangan. Sifat fisik kayu yang telah diamati dianalisis dengan rancangan acak lengkap (RAL) ulangan tidak sama dan diuji lanjut dengan uji beda nyata jujur (BNJ) ulangan tidak sama.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap kerapatan, berat jenis dan T/R ratio kayu yang diawetkan, tetapi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air dan perubahan dimensi kayu. Sedangkan perbedaan proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap sifat fisik kayu. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa dengan memodifikasi lamanya penerapan suhu dan tekanan awal (15°C dan 60 kg/cm²) hingga 30 menit tidak berpengaruh negatif terhadap sifat fisik kayu. Adanya pengaruh positif pada kadar air dan perubahan dimensi dari penggunaan CO₂ terjadi karena dengan perlakuan impregnasi dengan CO₂ dapat memperkecil persentase kadar air dan perubahan dimensi kayu, walaupun penurunan persentase kadar air dan perubahan dimensi kedua proses berbeda. Meskipun demikian, proses yang dilakukan dengan mempertahankan suhu dan tekanan awal selama 30 menit dapat menyebabkan gradien tekanan yang besar sehingga kayu *collapse*.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahimi

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* semata, Tuhan semesta alam atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya serta perlindungan-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik, dan teriring pula salawat kepada junjungan kami Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam* beserta para sahabat dan keluarga beliau. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana kehutanan pada Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan, tidak lepas dari bimbingan, arahan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu sepantasnyalah penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc dan Bapak Ir. Bakri M.Sc selaku pembimbing dalam penyusunan skripsi ini, atas keikhlasan yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga dalam memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djamal Sanusi, Ibu A. Detti Yuniarti, S.Hut, M.P dan Ibu Astuti Arif, S.Hut, M.Si selaku dosen penguji.
3. Bapak Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc selaku Pembantu Dekan I Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Ir. H. Muh. Restu, M.P selaku Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Ir. Beta Putranto, M.Sc selaku dosen statistika, atas bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Ir. Baharuddin selaku penasehat akademik, terima kasih atas nasehat dan bimbingannya selama ini.
7. Kak Heru Arisandi (Laboran Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan) penulis ucapkan terima kasih banyak atas segala bantuannya.
8. Sahabat-sahabatku Idha, Tiwi, Yuyu, Inchi, Ireng, Ifha, Rere, Fika, Ephi, Has, Ani, Tia, Omi, Ati, Kak Dewi, Kak Ramlah, Kak Hesra dan Kak Nita, terima kasih atas dukungan, semangat dan perhatiannya selama ini.
9. Seluruh teman mahasiswa angkatan 2003 dan 2002 yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Teristimewa penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tercinta Bapak Asmaun dan Ibu Suwarni serta saudara-saudaraku Nita, Yati dan Yuli atas bimbingan, semangat dan curahan kasih sayang serta doanya yang tulus ikhlas selama ini. *Insy Allah* mendapat balasan dari Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik bagi pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan pengetahuan bagi kita semua. Amin.

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Desember 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Kegunaan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Gambaran Umum Tanaman	3
B. Sifat Fisik Kayu	
1. Kadar Air	4
2. Kerapatan dan Berat Jenis	6
3. Penyusutan dan Pengembangan	7
C. Pengaruh Metode Pengawetan terhadap Sifat Fisik dan Mekanis Kayu	9
D. Karbon Dioksida (CO ₂) dan Kegunaannya dalam Pengawetan Kayu	9
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	13
B. Alat dan Bahan	13
C. Prosedur Penelitian	14
D. Analisis Data	18

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kadar Air	22
B. Kerapatan	24
C. Berat Jenis	25
D. Perubahan Dimensi	25
E. T/R Ratio	33

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	35
B. Saran	35

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	<i>Teks</i>	Halaman
1.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Kadar Air Kayu Nyatoh.....	23
2.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Tangensial Kayu Nyatoh	27
3.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Tangensial Kayu Nyatoh	27
4.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Radial Kayu Nyatoh	29
5.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Radial Kayu Nyatoh	30
6.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Volume Kayu Nyatoh	32
7.	Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Volume Kayu Nyatoh	32

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Fase yang Menunjukkan Daerah Superkritis dari CO ₂	10
2.	Unit Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida (CO ₂) sebagai Pelarut Pembawa	14
3.	Kayu yang Mengalami <i>Collapse</i> pada Proses I (a) dan pada Proses II (b)	20
4.	Profil Proses Pengawetan I dan II	21
4.	Kadar Air Rata-rata Kayu Nyatoh	23
5.	Kerapatan Rata-rata Kayu Nyatoh	24
6.	Berat Jenis Rata-rata Kayu Nyatoh	25
7.	Penyusutan Tangensial Rata-rata Kayu Nyatoh	26
8.	Pengembangan Tangensial Rata-rata Kayu Nyatoh	26
7.	Penyusutan Radial Rata-rata Kayu Nyatoh	28
8.	Pengembangan Radial Rata-rata Kayu Nyatoh	29
7.	Penyusutan Volume Rata-rata Kayu Nyatoh	31
8.	Pengembangan Volume Rata-rata Kayu Nyatoh	31
9.	T/R Ratio Rata-rata Kayu Nyatoh	34

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1.	Kadar Air Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	38
2.	Analisis ragam Kadar Air kayu sebelum dan setelah Melalui Proses Pengawetan.....	39
3.	Kerapatan Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	40
4.	Persentase Volume Rongga Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	41
5.	Analisis Ragam Kerapatan kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	42
6.	Berat Jenis Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	43
7.	Analisis Ragam Berat Jenis Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	44
8.	Penyusutan dan Pengembangan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	45
9.	Analisis Ragam Penyusutan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	46
10.	Analisis Ragam Pengembangan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	47
11.	Penyusutan dan Pengembangan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	48
12.	Analisis Ragam Penyusutan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	49
13.	Analisis Ragam Pengembangan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	50
14.	Penyusutan dan Pengembangan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	51
15.	Analisis Ragam Penyusutan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	52

16. Analisis Ragam Pengembangan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	53
17. T/R ratio Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan	54
18. Analisis Ragam T/R Ratio Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan.....	55

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kayu sebagai hasil hutan banyak dimanfaatkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Pada masa sekarang ini kayu dimanfaatkan tidak hanya terbatas sebagai bahan bangunan dan kayu bakar tetapi semakin bervariasi karena perkembangan teknologi. Untuk bahan konstruksi dan bangunan, penggunaan kayu masih terus bertahan walaupun mendapat saingan dari bahan-bahan lainnya seperti baja, besi dan produksi-produksi sejenis lainnya. Hal ini disebabkan karena kayu memiliki sifat-sifat yang menguntungkan seperti mudah dalam pengerjaannya dan tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran. Namun demikian, kayu juga memiliki kelemahan-kelemahan misalnya kayu tersebut mudah mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh adanya serangan organisme perusak kayu. Dewasa ini, keadaan tersebut semakin nyata karena sebagian besar jenis-jenis kayu yang tersedia memiliki daya tahan atau keawetan alami yang tergolong rendah. Di Indonesia, dari 4000 jenis kayu yang dikenal, sekitar 85,7% termasuk dalam kelas keawetan rendah (Martawijaya, 1996). Dengan demikian, perlu dilakukan usaha-usaha untuk meningkatkan ketahanan kayu terhadap organisme perusak kayu melalui proses pengawetan. Pengawetan kayu adalah memasukkan bahan kimia yang bersifat racun ke dalam kayu sebagai pelindung dari serangan organisme perusak kayu.

Metode pengawetan kayu yang umum digunakan adalah pengawetan tanpa tekanan (perendaman, pencelupan, pemulasan, penyemprotan dan pembalutan) dan pengawetan dengan tekanan (metode proses sel kosong dan metode proses sel penuh). Metode-metode tersebut dilakukan dengan menggunakan media pelarut berupa air atau minyak. Metode pengawetan ini telah mampu meningkatkan ketahanan kayu terhadap

organisme perusak kayu, tetapi memiliki beberapa kelemahan antara lain penggunaan bahan pelarut cair ini dapat berdampak negatif terhadap lingkungan karena limbah cair yang dihasilkan. Metode pengawetan ini juga dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan mekanis kayu sebagai akibat proses pengeringan ulang dari kayu yang diawetkan. Oleh karena itu, saat ini telah dikembangkan metode alternatif pengawetan kayu yang menggunakan karbon dioksida (CO_2) sebagai *carrier solvent* (zat pelarut pembawa). Penggunaan CO_2 ini diharapkan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Di samping itu, metode pengawetan alternatif ini tidak berpengaruh negatif terhadap sifat fisik dan mekanis kayu, tetapi untuk jenis kayu tertentu perlu memperhatikan proses pengawetan seperti pada pengawetan kayu nyatoh (*Palaquium* sp.) karena dapat mengakibatkan retak dan pecah (Wahyuni, 2006).

B. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan proses pengawetan menggunakan CO_2 sebagai pelarut pembawa terhadap sifat fisik kayu nyatoh yang diawetkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan proses pengawetan yang tepat untuk pengawetan kayu dengan menggunakan CO_2 sebagai pelarut pembawa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Tanaman

Menurut Tantra (1980), sistematika kayu nyatoh adalah sebagai berikut :

- Regnum : Plantae
- Divisio : Spermatophyta
- Sub divisio : Angiospermae
- Class : Dicotyledonae
- Ordo : Ebenales
- Family : Sapotaceae
- Genus : *Palaquium*
- Species : *Palaquium* sp.

Kayu nyatoh memiliki daerah penyebaran hampir terdapat di seluruh Indonesia. Kayu tersebut memiliki tinggi 30 – 45 m, dengan panjang batang bebas cabang 15 – 30 m, diameter 50 – 100 cm. Bentuk batang lurus dan silindris, kulit luar berwarna cokelat, kelabu coklat, merah coklat, atau merah tua sampai agak hitam. Pohon nyatoh memiliki warna kayu teras yang bervariasi, yaitu dari coklat kuning, coklat muda, coklat ungu, coklat merah sampai coklat atau merah tua. Kayu gubal berwarna lebih muda dengan ketebalan mencapai 10 cm. Kayu nyatoh memiliki tekstur agak halus sampai agak kasar dan arah serat yang lurus sampai agak berpadu dengan permukaan kayu yang kadang-kadang mengkilap dan licin. Secara umum, kayu nyatoh memiliki kisaran berat jenis 0,48 – 0,87 dan termasuk dalam kelas awet III – IV serta memiliki kelas keterawetan yang sukar untuk diawetkan (Martawijaya, dkk., 1981). Kayu nyatoh dalam pengerjaannya pada umumnya mudah dikerjakan dan baik digunakan untuk kayu

bangunan. Namun demikian, kayu ini memiliki kembang susut yang besar dan mudah melengkung serta memiliki daya retak yang tinggi (Pendidikan Industri Kayu Atas, 1979).

B. Sifat Fisik Kayu

1. Kadar Air

Menurut Dumanauw (1990), banyaknya kandungan air pada kayu dan dinyatakan dengan persentase dari berat kering tanur disebut kadar air kayu. Banyaknya kandungan air pada kayu bervariasi, tergantung jenis kayunya dan berkisar 40% - 300%. Berat kering tanur dipakai sebagai dasar, karena berat ini merupakan petunjuk banyaknya zat pada kayu. Keadaan air yang terdapat di dalam kayu terdiri atas dua macam, yaitu sebagai berikut :

- a. Air bebas, yaitu air yang terdapat dalam rongga-rongga sel, paling mudah dan terdahulu keluar. Air bebas umumnya tidak mempengaruhi sifat dan bentuk kayu kecuali berat kayu.
- b. Air terikat, yaitu air yang berada dalam dinding-dinding sel kayu, sangat sulit untuk dilepaskan. Zat cair pada dinding sel inilah yang berpengaruh terhadap sifat-sifat kayu (penyusutan). Bilamana air bebas telah keluar dan masih tertinggal air terikat, dikatakan kayu telah mencapai titik jenuh serat (*fiber saturation point*).

Kadar air kayu bersifat labil, karena kayu bersifat higroskopis. Jika berada dalam lingkungan yang lebih lembab, kayu akan menyerap air sehingga jumlah air dalam kayu meningkat dan dengan demikian kadar air kayu pun akan meningkat. Sebaliknya, kalau berada dalam lingkungan yang lebih kering, kayu akan menguapkan air yang dikandungnya dan jumlah air di dalam kayu akan menurun, dan sudah barang tentu kadar

air kayu pun akan menurun. Penurunan dan peningkatan jumlah air di dalam kayu ini tidak akan mengubah ukuran fisik atau dimensi kayu, sejauh penurunan dan peningkatan itu terjadi pada kondisi di atas titik jenuh serat (Suranto, 2002).

Kayu yang baru ditebang biasanya mengandung banyak air sehingga kayu perlu dikeringkan sebelum dikerjakan lebih lanjut. Sesuai sifat kayu yang higroskopis, kayu selalu cenderung mencapai kadar air keseimbangan dengan lingkungannya. Dalam lingkungan yang kering, kayu akan mengering sedang dalam lingkungan yang lembab kayu akan mengisap air. Pada setiap kombinasi suhu dan kelembaban nisbi udara, kayu mempunyai kadar air tertentu. Keadaan ini disebut kadar air keseimbangan (*equilibrium moisture content*) kayu (Departemen Pertanian, 1976).

Menurut Dumanauw (1990), jika air berhubungan dengan kayu, baik kayu segar maupun kayu dalam pemakaian maka sesudah dinding sel jenuh dengan air pada akhirnya rongga sel akan terisi air bebas. Kadar air maksimum akan tercapai bila semua rongga dalam dinding sel dan rongga-rongga sel telah jenuh dengan air. Banyaknya air dalam kayu ditentukan oleh :

- a. Volume rongga-rongga dalam kayu yang tidak diisi oleh zat dinding sel dan zat ekstraktif
- b. Berat jenis kayu pada saat kering tanur

Dalam suatu pohon terdapat variasi kandungan air. Perbedaan antara kayu teras dan kayu gubal adalah salah satu sumber variasi semacam itu. Apabila kayu di dalam batang suatu pohon mengalami perubahan dari kayu gubal ke kayu teras, kandungan air di dalam dinding sel sedikit berkurang. Ini adalah hasil pengendapan ekstraktif-ekstraktif yang cenderung untuk menggantikan molekul-molekul air dalam ikatannya dengan selulosa dan hemiselulosa. Kayu daun lebar umumnya hanya mempunyai perbedaan

kecil dalam kandungan air antara kayu gubal dan kayu teras. Hal ini berlawanan sekali dengan kayu daun jarum dengan kandungan air gubal biasanya lebih tinggi daripada kayu teras dengan suatu faktor 3-4 kalinya. Kayu daun jarum memiliki kandungan air keseluruhan yang lebih rendah pada saat pohon-pohon tersebut bertambah tua karena persen kayu gubal menurun (Haygreen dan Bowyer, 1987).

2. Kerapatan dan Berat Jenis

Wiryomartono (1976) mengemukakan bahwa kerapatan merupakan suatu indikator yang baik mengenai kekuatan kayu. Angka kerapatan itu tergantung dari banyaknya zat dinding selnya. Semakin sedikit zat dinding selnya, makin rendah kerapatannya. Dengan demikian jelas bahwa semakin kecil angka kerapatan suatu kayu semakin rendah pula kekuatannya.

Berat jenis adalah perbandingan antara kerapatan kayu dengan kerapatan air, jadi berat jenis dapat didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan kayu (atas dasar berat kering tanur dan volume pada kandungan air yang telah ditentukan) terhadap kerapatan air pada suhu 4°C. Berat jenis kayu sangat erat hubungannya dengan sifat mekanis kayu atau kekuatan kayu, sebab dengan mengetahui berat jenis suatu kayu maka kekuatan kayu tersebut dapat diketahui. Makin tinggi berat jenis suatu kayu maka makin tinggi kekuatan kayu tersebut (Haygreen dan Bowyer, 1987). Suranto (2002) mengemukakan bahwa berat jenis kayu memperlihatkan berat unsur kayu itu sendiri. Dalam volume tertentu, suatu kayu yang berat unsur kayunya tinggi akan mempunyai berat jenis yang tinggi. Sebaliknya, suatu kayu yang berat unsur kayunya rendah, akan mempunyai berat jenis yang rendah pula.

Menurut Panshin dan de Zeeuw (1980), kerapatan dan berat jenis dapat dipengaruhi oleh kadar air. Berat jenis sepotong kayu bertambah jika kadar air turun di bawah titik jenuh serat. Hal ini terjadi karena berat kering tanur tetap konstan sedangkan volume berkurang selama pengeringan. Selain itu, juga dipengaruhi oleh proporsi volume rongga dalam kayu (porositas) serta pengaruh ekstraktif dan bahan organik yang mengisi dinding sel dan diendapkan selama pembentukan lapisan dinding sekunder dan selama pembentukan kayu teras.

3. Penyusutan dan Pengembangan

Besarnya pengaruh perubahan dimensi yang mungkin terjadi pada sepotong kayu yang baru dikeringkan dari keadaan basah perlu dipertimbangkan dalam pengerjaan dan penggunaannya. Hal ini disebabkan banyak jenis kayu memiliki angka penyusutan yang tinggi, jika kayu tersebut menjadi kering. Dalam penggunaan kayu dituntut syarat kestabilan dimensi kayu. Perubahan dimensi kayu tidak sama dalam ketiga arah : longitudinal, tangensial dan radial. Dengan kata lain, kayu memiliki sifat anisotropis. Perubahan dimensi meliputi pengembangan dan penyusutan. Kayu menyusut lebih banyak dalam arah lingkaran tumbuh (tangensial), agak kurang ke arah melintang lingkaran tumbuh (radial) dan sedikit sekali dalam arah sepanjang serat (longitudinal) (Dumanauw, 1990).

Pada awal pengeringan kayu, air yang keluar adalah air bebas. Setelah rongga sel kosong dengan air, yaitu ketika kandungan air 30% (kadar air titik jenuh serat), maka yang keluar adalah air terikat. Dimensi kayu dapat berkurang atau menyusut dengan menurunnya kadar air kayu selama proses pengeringan. Akan tetapi yang perlu diperhitungkan adalah penyusutan pada kadar air di bawah 30% khususnya pada arah radial dan tangensial. Besarnya penyusutan yang dinyatakan dalam persen (%) pada

sebuah papan besarnya berbeda pada arah tebal dan lebar, sedangkan pada arah memanjang penyusutannya dapat diabaikan. Pengembangan atau penambahan dimensi kayu dapat terjadi apabila kayu disimpan di udara yang berkelembaban lebih tinggi daripada keadaan keseimbangannya. Sebaliknya penyusutan atau pengurangan dimensi kayu dapat terjadi apabila kayu disimpan di udara yang kelembabannya lebih rendah dari keadaan keseimbangannya (Departemen Kehutanan dan Perkebunan, 1999).

Menurut Panshin dan de Zeeuw (1980), perbedaan antara perubahan dimensi tangensial dan radial karena adanya perbedaan tebal dinding sel dan arah mikrofibril dalam lapisan dinding sel pada kayu awal dan kayu akhir. Tingginya persentase lapisan S-2 pada dinding sel kayu akhir menyebabkan besarnya penyusutan lateral kayu akhir. Dinding sel kayu awal yang tipis relatif memiliki persentase lapisan S-2 yang rendah dan perubahan dimensi lateralnya dipengaruhi oleh rendahnya sudut orientasi mikrofibril pada lapisan S-1 dan S-2. Akibatnya, penyusutan transversal kayu awal lebih rendah dari kayu akhir. Perubahan dimensi transversal pada kedua arah sumbu merupakan akibat dari perbedaan jumlah struktur dinding sel pada kayu awal dan kayu akhir. Penyusutan dan pengembangan tangensial umumnya dikendalikan oleh perubahan dalam kayu akhir. Di pihak lain rendahnya perubahan dimensi radial lebih kecil dari perubahan dimensi tangensial karena rendahnya penyusutan komponen kayu awal secara total. Faktor lain yang mempengaruhi adalah adanya jari-jari yang menahan kayu awal yang lemah sehingga mengurangi perubahan dimensi radial. Kadar lignin yang tinggi pada dinding radial lebih tinggi daripada dinding tangensial, sehingga penyusutan radial berkurang dengan bertambahnya kadar lignin. Pada dinding radial arah mikrofibril membentuk sudut yang lebih kecil, sedangkan pada dinding tangensial membentuk sudut yang lebih besar sehingga penyusutan radial lebih kecil bila dibanding penyusutan tangensial.

C. Pengaruh Metode Pengawetan terhadap Sifat Fisik dan Mekanis Kayu

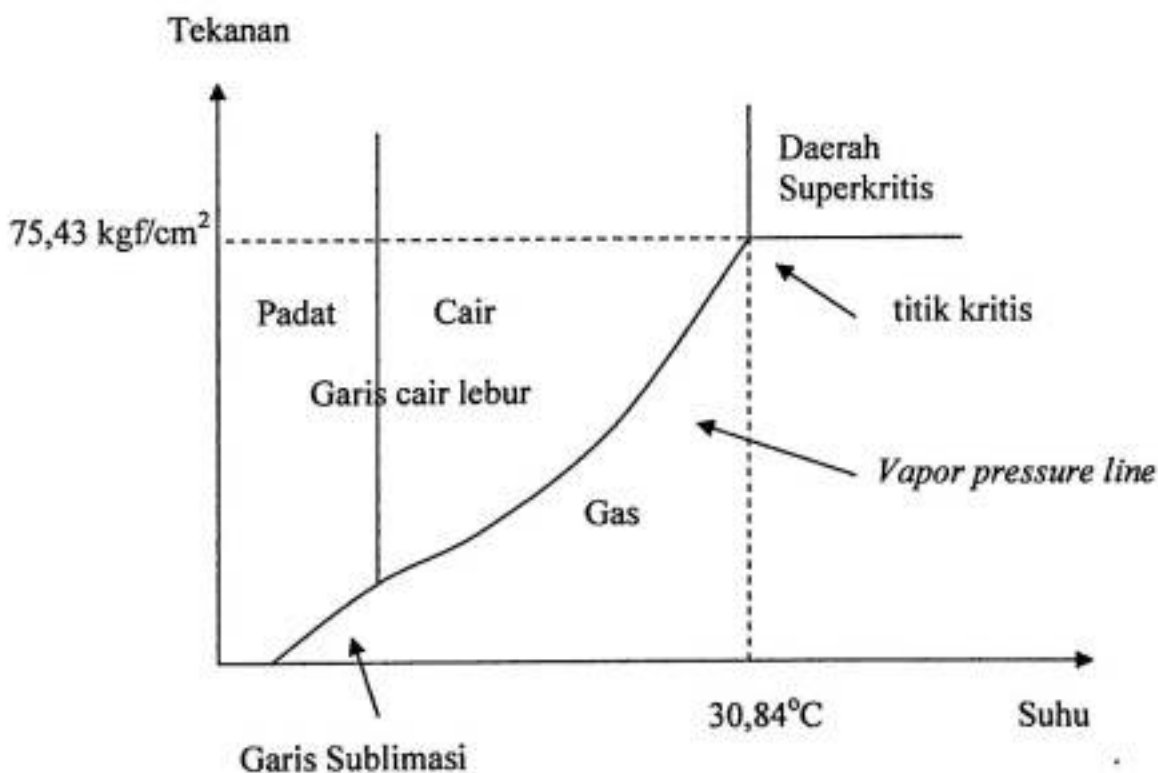
Batas untuk menaikkan tekanan pada proses pengawetan tanpa menyebabkan kayu retak dan *collapse* tergantung pada kekuatan mekanik kayu. Batas ini juga ada hubungannya dengan ukuran kayu, semakin besar ukuran kayu maka kekuatan mekaniknya juga semakin besar sehingga akan mengurangi kayu retak dan *collapse* dan sebaliknya untuk kayu yang berukuran kecil. Kayu yang dikeringudarkan dapat dikenakan tekanan yang lebih tinggi dari kayu basah atau kayu yang sudah dipanaskan untuk waktu yang lama. Hal ini tentu saja disebabkan oleh plastisitas kayu yang basah dan kayu yang sudah dipanaskan yang lebih mudah rusak jika diberi tekanan. Akan tetapi kayu yang mudah *collapse* dan retak dapat dihindari dengan menggunakan tekanan yang sedang, suhu tinggi dan memperpanjang periode pengawetan (Hunt dan Garat, 1986). Metode pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa pada kondisi tertentu tidak berpengaruh negatif terhadap sifat fisik kayu (kadar air, kerapatan, penyusutan dan pengembangan tangensial, penyusutan dan pengembangan radial, penyusutan dan pengembangan volumetrik dan T/R ratio). Namun demikian, untuk jenis kayu tertentu seperti kayu nyatoh perlu memperhatikan proses pengawetan karena dapat mengakibatkan retak dan pecah (Wahyuni, 2006).

D. Karbon Dioksida (CO₂) dan Kegunaannya dalam Pengawetan Kayu

Karbon dioksida adalah suatu molekul non-polar dan diharapkan dapat melarutkan molekul-molekul organik non-polar dengan baik. Sifat-sifat pelarutan CO₂ tersebut dapat juga diperluas untuk mampu melarutkan molekul-molekul polar dengan penambahan sejumlah (biasanya 5 mol) *co-solvent* seperti ethanol dan aseton (Chipperfield, 1999). Penggunaan CO₂ sebagai pelarut pembawa banyak menarik

perhatian peneliti dalam berbagai bidang karena disamping aman dan tersedia dimanamana juga dapat dengan mudah diubah dari fase yang satu ke fase lainnya termasuk mudah mencapai kondisi di atas titik kritisnya dengan kemampuan melarutkan dan difusi yang tinggi (Muin, 2003). Muin dan Tsunoda (2004a) menjelaskan bahwa penggunaan CO₂ dalam keadaan superkritis pada suhu dan tekanan sedikit di atas titik kritisnya sangat cocok untuk mengawetan panel-panel kayu.

Karbon dioksida murni memiliki titik kritis pada suhu dan tekanan masing-masing 30,84°C dan 75,3 kg/cm² (Kitao *et al.*, 1998). Pemberian suhu dan tekanan CO₂ di atas titik kritis menghasilkan fase superkritis (Gambar 1) yang memiliki ciri/sifat antara gas dan cair. Penggunaan dari superkritis CO₂ untuk perlakuan pengawetan kayu sejauh ini masih dalam tahap perkembangan.



Gambar 1. Fase yang menunjukkan Daerah Superkritis dari CO₂

Pengembangan teknologi dengan menggunakan CO₂ sebagai *carrier solvent* dalam usaha pengawetan kayu utuh (*solid wood*) tampaknya perlu diarahkan kepada proses perlakuan pada suhu dan tekanan yang serendah mungkin. Hal ini tentu saja akan lebih hemat energi dan menguntungkan secara praktis dan ekonomis. Penelitian impregnasi bahan pengawet menggunakan CO₂ pada suhu 50°C dan tekanan 100 kg/cm² menunjukkan hasil yang menjanjikan dengan adanya peningkatan keawetan kayu tanpa ada pengaruh negatif terhadap sifat fisik dan kekuatannya (Muin *et al.*, 2003). Lebih dari itu, penelitian terhadap daya tahan panel-panel kayu terhadap serangan jamur maupun rayap setelah diawetkan dengan *3-iodo-2-propynyl butylcaromate* (IPBC) (Muin dan Tsunoda, 2003a) dan/atau silafluofen menggunakan CO₂ pada suhu dan tekanan yang lebih rendah lagi (35°C dan 80 kg/cm²) menunjukkan peningkatan keawetan yang nyata (Muin dan Tsunoda, 2003b).

Penggunaan CO₂ terbukti tidak menyebabkan interaksi kimia yang bersifat negatif terhadap komponen dinding sel kayu (Larsen *et al.*, 1992), tetapi interaksi fisik dan mekanik dapat terjadi sebagai akibat perubahan tekanan dan/atau suhu perlakuan (Muin *et al.*, 2003). Interaksi tersebut juga merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan tidak meratanya distribusi bahan pengawet antara bagian tengah dan permukaan kayu yang diawetkan. Hal ini dibuktikan dengan penelitian retensi bahan pengawet silafluofen untuk beberapa jenis panel kayu (kayu lapis, papan partikel, papan serat) yang dilakukan oleh Muin dan Tsunoda (2004b). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ratio retensi bahan pengawet silafluofen antara bagian permukaan dan bagian tengah berkisar antara 1,09 kg/cm³– 6,50 kg/cm³ tergantung pada tipe panel kayu yang diawetkan.



Proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa menunjukkan kemampuannya melarutkan dan menghantarkan bahan kimia pengawet ke dalam struktur kayu. Penggunaan CO₂ tanpa bahan pengawet terbukti menghilangkan komponen tertentu dari kayu yang ditunjukkan oleh kehilangan berat dari kayu yang diimpregnasi, meskipun persentasenya sangat kecil (Muin dan Arif, 2006).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2007 sampai bulan Agustus 2007 di Laboratorium Sifat Dasar dan Teknologi Kimia Hasil Hutan, Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.

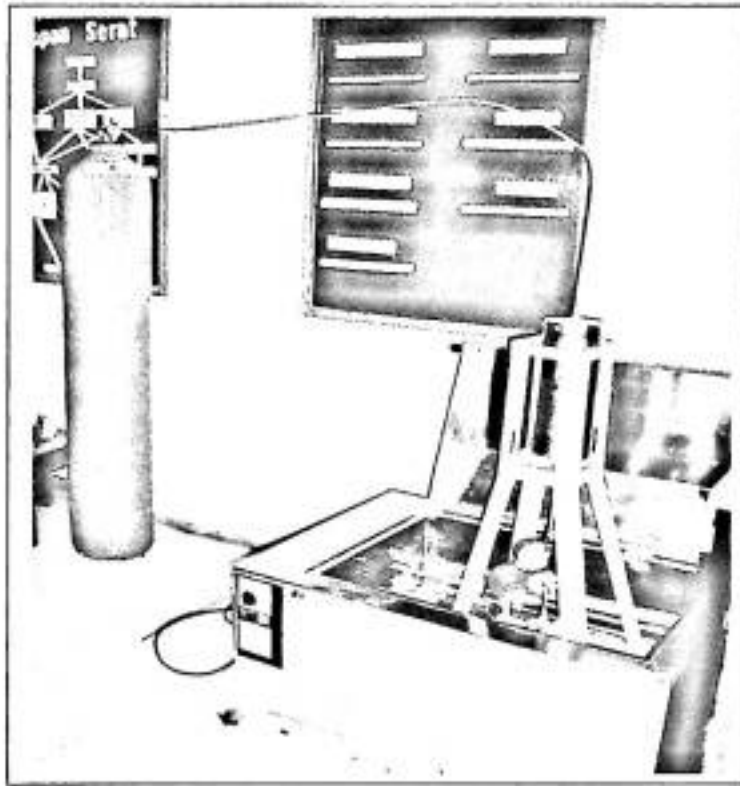
B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat pengawetan (Gambar 2)
2. Oven
3. Desikator
4. *Caliper* dan mistar
5. Timbangan elektrik dengan ketelitian 0,01 g
6. Pipet
7. *Stopwatch*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kayu nyatoh dengan ukuran 1,5 cm (radial) x 1,5 cm (tangensial) x 15 cm (longitudinal)
2. Karbon dioksida (CO₂) sebagai pelarut pembawa bahan pengawet
3. Bahan pengawet berupa silafluofen
4. Ethanol sebagai *co-solvent*
5. *Coating* berupa epoxy resin



Gambar 2. Unit Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida (CO_2) sebagai Pelarut Pembawa

C. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Sampel Uji

1. Sampel uji yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sampel uji bebas cacat dari kayu nyatoh dengan ukuran 1,5 cm (radial) x 1,5 cm (tangensial) dan 15 cm (longitudinal)
2. Pada bagian ujung setiap sampel uji diberi *coating* berupa epoxy resin untuk menghindari masuknya bahan pengawet dari arah longitudinal, dimana CO_2 diharapkan berpenetrasi dari permukaan kayu bukan dari ujungnya sesuai dengan keadaan yang biasa diharapkan dalam proses pengawetan komersial
3. Setelah itu setiap sampel uji ditandai pada tiga (3) titik dengan jarak yang sama sepanjang sampel uji untuk pengukuran dimensi tebal dan lebar sampel uji

4. Sebelum diawetkan, sampel uji dikondisikan pada suhu 60°C selama \pm 48 jam
5. Seluruh sampel uji kemudian ditimbang beratnya, diukur dimensinya dan dihitung volumenya.

2. Persiapan Bahan Pengawet

Bahan pengawet yang digunakan adalah silafluofen 95,8% (Dainihon Jockugiku Co.Ltd.Japan), suatu termisida non-ester pyrethroid. Bahan pengawet ini telah digunakan secara luas dalam pengawetan kayu karena sifatnya yang stabil pada berbagai kondisi lingkungan pemakaian (Minamite *et al.*, 1990). Bahan pengawet tersebut memiliki nilai toksik pada retensi \pm 0,025 kg/m³ (Muin dan Tsunoda, 2004b). Dalam penelitian ini, bahan pengawet tersebut dipersiapkan dengan cara melarutkannya dalam *co-solvent* ethanol (p.a 99,9%, Merc) dengan konsentrasi 40%. Dalam setiap proses pengawetan, 5 ml larutan pengawet tersebut dimasukkan ke dalam tangki pengawetan.

3. Proses Pengawetan

a. Proses I

1. Satu sampel uji dari kayu yang telah dipersiapkan dan diukur dimensinya serta ditimbang beratnya dimasukkan ke dalam tangki pengawetan
2. Setelah itu, 5 ml larutan bahan pengawet dimasukkan ke dalam tangki bahan pengawet
3. Kemudian CO₂ dialirkan dari tabung ke dalam tangki bahan pengawet yang telah diisi dengan bahan pengawet, untuk selanjutnya dialirkan dalam tangki pengawetan
4. Kombinasi suhu 15°C dengan tekanan 60 kg/cm² digunakan pada tahap awal, kemudian suhu tersebut ditingkatkan secara perlahan-lahan hingga mencapai suhu 35°C dan untuk meningkatkan fase CO₂ dari cair menjadi superkritis. Dengan peningkatan suhu tersebut, diharapkan terjadi pula peningkatan tekanan hingga \pm 80

kg/cm². Kondisi akhir tersebut dipertahankan selama 20 menit. Proses pengawetan dilakukan dengan 10 kali ulangan, sehingga dibutuhkan 10 sampel uji. Proses pengawetan di atas juga dilakukan dengan hanya menggunakan CO₂ tanpa bahan pengawet untuk memperoleh angka koreksi atas pengaruh dari pelarut pembawa tersebut.

b. Proses II

Proses ini memiliki kesamaan dengan proses I yaitu pada point 1 – 3. Proses selanjutnya yaitu pada kombinasi suhu 15°C dan tekanan 60 kg/cm² yang digunakan sebagai tahap awal dipertahankan selama 30 menit kemudian ditingkatkan secara perlahan-lahan hingga mencapai suhu 35°C dan tekanan untuk meningkatkan fase CO₂ dari cair menjadi superkritis. Dengan proses ini, diharapkan peningkatan tekanan lebih tinggi dari proses I (± 110 kg/cm²). Kondisi akhir tersebut dipertahankan selama 20 menit. Proses pengawetan dilakukan dengan 10 kali ulangan, sehingga dibutuhkan 10 sampel uji. Proses pengawetan ini menggunakan satu unit alat pengawetan seperti pada Gambar 2.

4. Penentuan Sifat Fisik Kayu

Setelah proses pengawetan, setiap sampel uji dikeluarkan dari tangki pengawetan dan diamati keadaan fisiknya. Kemudian seluruh sampel uji dikondisikan kembali pada suhu 60°C selama ± 48 jam dan ditimbang beratnya, diukur dimensinya pada titik dan tempat yang sama sebelum pengawetan serta dihitung volumenya. Setelah itu seluruh sampel uji dikering udarakan dan ditimbang beratnya serta diukur dimensi dan dihitung volumenya. Langkah terakhir yaitu seluruh sampel uji dikering tanurkan dalam oven pada suhu $105 \pm 2^\circ\text{C}$, kemudian dimasukkan dalam desikator ± 15 menit dan ditimbang kembali beratnya dan diukur dimensi serta dihitung volumenya.

Berdasarkan data-data berat pada kondisi kering udara dan kering tanur, dimensi arah radial dan tangensial serta volume pada kondisi yang sama, maka sifat fisik kayu ditentukan dengan cara sebagai berikut :

a. Kadar Air

Kadar air kayu yang dihitung dalam penelitian ini adalah kadar air kesetimbangan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan. Kadar air kayu tersebut dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat kering udara} - \text{Berat kering tanur}}{\text{Berat kering tanur}} \times 100\%$$

b. Kerapatan dan % Volume Rongga

Kerapatan yang dihitung adalah kerapatan kayu kering udara sebelum dan setelah melalui proses pengawetan. Kerapatan tersebut dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Berat kayu kering udara}}{\text{Volume kayu kering udara}}$$

Persentase volume rongga kayu dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ Volume Rongga} = \left\{ 1 - \frac{(\text{Kerapatan kering tanur})}{1,5} \right\} \times 100\%$$

c. Berat Jenis

Berat jenis yang dihitung adalah berat jenis kayu kering udara sebelum dan setelah melalui proses pengawetan. Berat jenis tersebut dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Kerapatan kayu}}{\text{Kerapatan air}}$$

d. Penyusutan dan Pengembangan

Penyusutan dan pengembangan kayu yang dihitung adalah penyusutan kayu dari kering udara ke kering tanur dan pengembangan kayu dari kering tanur ke kering udara sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dengan menggunakan rumus :

$$\% \text{ Pengembangan} = \frac{\text{Pertambahan dimensi atau volume}}{\text{Dimensi atau volume awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Penyusutan} = \frac{\text{Pengurangan dimensi atau volume}}{\text{Dimensi atau volume awal}} \times 100\%$$

e. T/R Ratio

T/R ratio yang dihitung adalah T/R ratio kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dengan menggunakan rumus :

$$\text{T/R ratio} = \frac{\Delta T \text{ (selisih dimensi tangensial)}}{\Delta R \text{ (selisih dimensi radial)}}$$

D. Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) ulangan tidak sama dengan 4 (empat) jenis perlakuan. Jenis perlakuannya adalah sebagai berikut :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Adapun rancangan acak lengkap menurut Gaspertz (1994) adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \epsilon_{ij}$$

Dimana :

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

μ = nilai tengah

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i

ϵ_{ij} = pengaruh galat percobaan dari satuan percobaan ke-j yang memperoleh perlakuan ke-i

Jika terdapat perlakuan yang berpengaruh nyata atau sangat nyata, maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji BNJ ulangan tidak sama dengan rumus sebagai berikut :

$$W = w' \times \left(\frac{1}{2}(1/r_i + 1/r_j)\right)^{1/2} \quad w' = Q_{\alpha(p, f_e)} \times S$$

Dimana :

W = Nilai uji tukey

Q_{α} = Nilai tabel tukey

p = Jumlah perlakuan

f_e = Derajat bebas galat

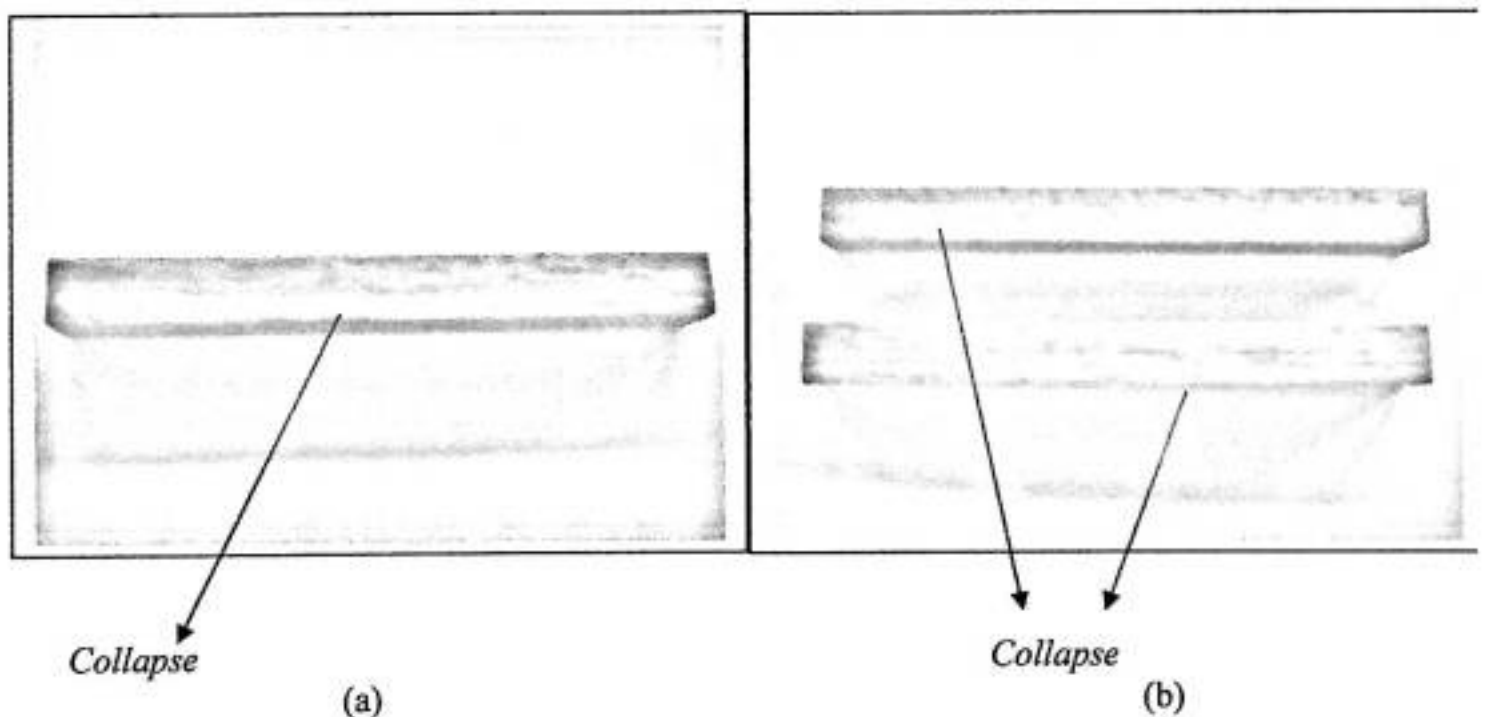
S = \sqrt{KTG}

KTG = Kuadrat tengah galat

r_i, r_j = Jumlah ulangan

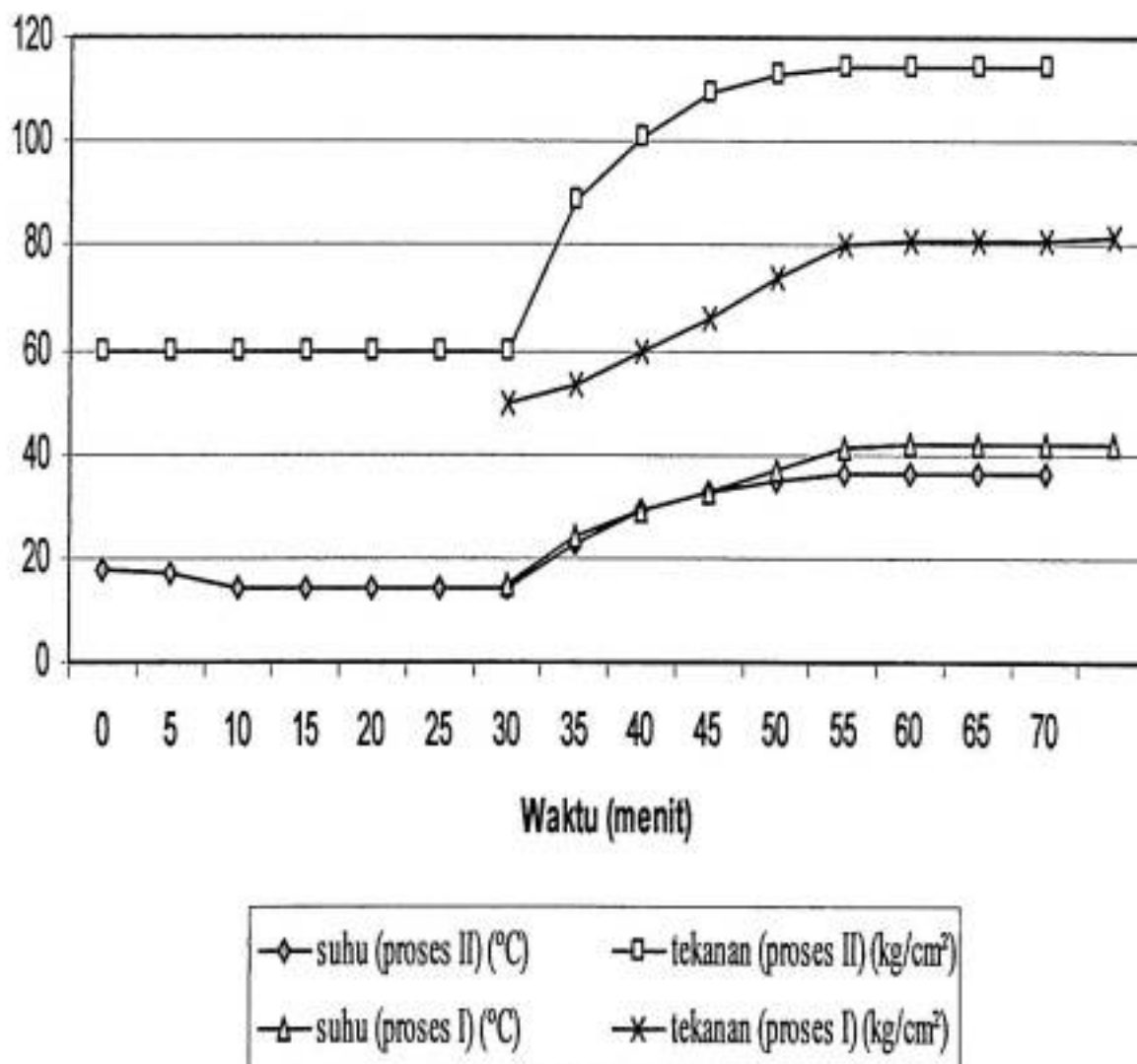
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa tidak berpengaruh negatif terhadap sifat fisik kayu, kecuali ada satu dua sampel yang mengalami perubahan bentuk sebagai akibat terjadinya *collapse* seperti terlihat pada Gambar 3. Adanya *collapse* pada kayu dijumpai pada kedua proses namun jumlah kayu yang mengalami *collapse* berbeda, yaitu satu sampel pada proses I dan dua sampel pada proses II. Penggunaan CO₂ dapat menyebabkan interaksi fisik dan mekanik sebagai akibat perubahan tekanan dan/atau suhu perlakuan (Muin *et al.*, 2003). Interaksi inilah yang diduga merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kayu *collapse*.



Gambar 3. Kayu yang mengalami *collapse* pada proses I (a) dan pada proses II (b)

Profil perbedaan proses pengawetan dapat dilihat pada Gambar 4. Profil ini menunjukkan bahwa terjadinya lebih banyak *collapse* pada kayu yang diawetkan dengan proses II diduga disebabkan oleh gradien tekanan pada proses ini lebih besar dibanding proses I. Besarnya gradien tekanan pada proses II diduga terjadi karena tekanan yang dicapai proses ini lebih tinggi dari proses I walaupun dengan suhu yang sama. Diduga hal tersebut disebabkan karena perbedaan jumlah CO₂ yang masuk ke dalam tangki pengawetan. Jumlah CO₂ yang masuk pada tangki pengawetan pada proses II lebih banyak dari proses I sehingga kerapatan CO₂ pada tangki pengawetan proses II lebih tinggi dari proses I.

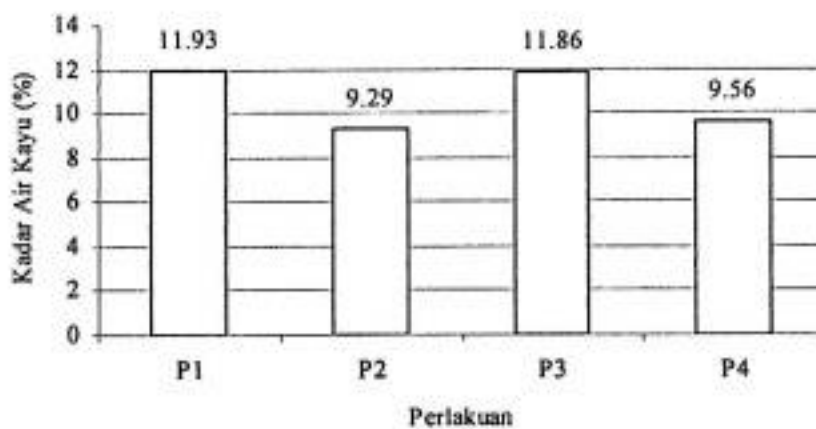


Gambar 4. Profil Proses Pengawetan I dan II

Menurut Hunt dan Garrat (1986), batas untuk menaikkan tekanan proses pengawetan tanpa menyebabkan kayu *collapse* dan retak tergantung pada kekuatan mekanik kayu, tetapi kayu yang mudah *collapse* dan retak dapat dihindari dengan menggunakan suhu tinggi dan memperpanjang periode pengawetan. Namun demikian, hasil penelitian ini sedikit berbeda dengan yang dikemukakan oleh Hunt dan Garrat, dimana kayu yang banyak mengalami *collapse* adalah kayu yang periode pengawetannya lebih lama (proses II). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengawetan dengan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa dapat menyebabkan pengaruh yang berbeda dengan perbedaan proses yang digunakan. Secara khusus, hasil pengamatan terhadap sifat fisik kayu dari sampel uji sebelum dan setelah melalui proses pengawetan diuraikan pada bagian-bagian berikut ini.

a. Kadar Air

Hasil perhitungan kadar air kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 1. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar air rata-rata kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II lebih tinggi dari kadar air rata-rata kayu setelah melalui proses pengawetan I dan II yaitu sebesar 11,93% dan 11,86% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 9,29% dan 9,56% seperti pada Gambar 5. Hal ini disebabkan oleh adanya tekanan pada saat proses pengawetan yang mendesak air untuk keluar sehingga kadar air setelah proses pengawetan lebih kecil dari sebelum proses pengawetan. Sedangkan penurunan persentase kadar air kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan pada proses I lebih tinggi dari proses II yaitu sebesar 2,64% dan proses II sebesar 2,30%.



Gambar 5. Kadar Air Rata-rata Kayu Nyatoh

Berdasarkan analisis ragam pada Lampiran 2 dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air kayu. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan terhadap kadar air kayu, maka dilakukan uji BNJ yang hasilnya disajikan pada Tabel 1. Hasil uji BNJ kadar air kayu berdasarkan jenis perlakuannya menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan berbeda sangat nyata dengan kayu setelah melalui proses pengawetan. Akan tetapi kayu sebelum pengawetan dan perbedaan proses pengawetan berbeda tidak nyata terhadap kadar air kayu.

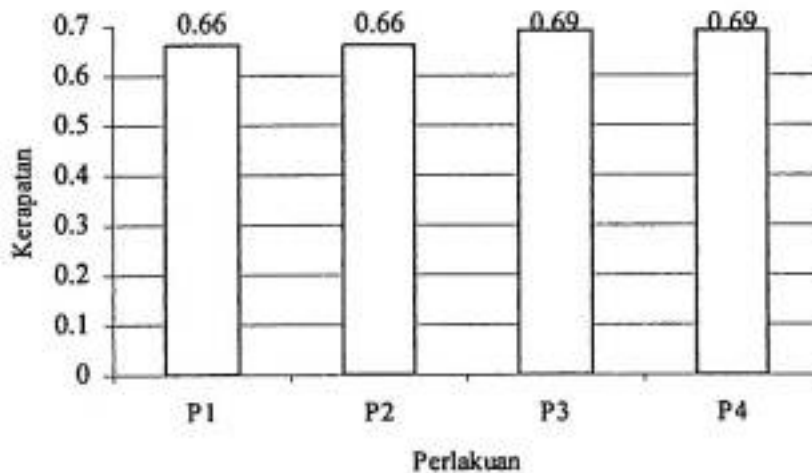
Tabel 1. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Kadar Air Kayu Nyatoh

Perlakuan	Kadar air rata-rata (%)	BNJ 0,01
P1	11,93	a
P3	11,86	a
P4	9,56	b
P2	9,29	b

Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

b. Kerapatan Kayu

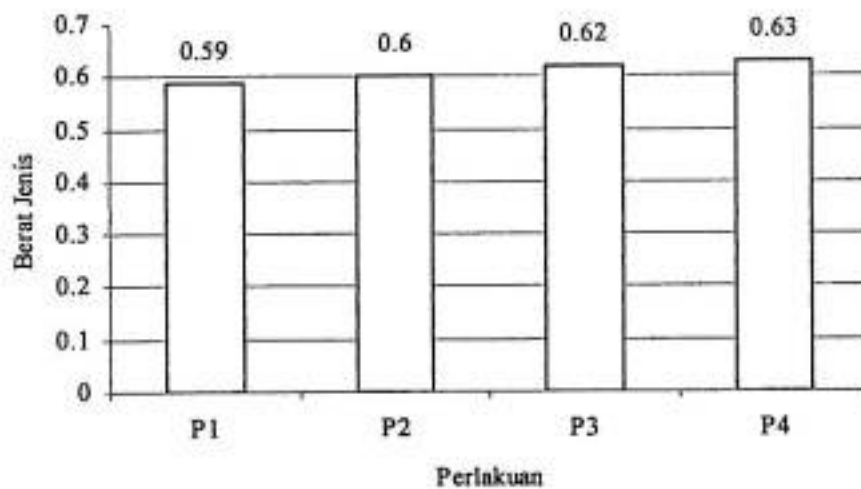
Hasil perhitungan kerapatan kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan baik proses I maupun proses II memiliki kerapatan rata-rata yang sama. Kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan II memiliki kerapatan rata-rata lebih tinggi dari kayu yang sebelum dan setelah melalui proses pengawetan I yaitu sebesar $0,69 \text{ g/cm}^3$ sedangkan kayu sebelum dan setelah proses pengawetan I sebesar $0,66 \text{ g/cm}^3$ seperti pada Gambar 6. Kerapatan kayu dipengaruhi oleh proporsi volume rongga kayu (Panshin dan de Zeeuw, 1980), kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan I memiliki persentase volume rongga yang lebih tinggi dari proses II yaitu sebesar 55,88% dan proses II sebesar 53,72% (Lampiran 4). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase volume rongga kayu maka kerapatannya semakin kecil. Berdasarkan analisis ragam pada Lampiran 5 dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap kerapatan kayu.



Gambar 6. Kerapatan Rata-rata Kayu Nyatoh

c. Berat Jenis

Hasil perhitungan berat jenis kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 6. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu setelah melalui proses pengawetan I dan II memiliki rata-rata berat jenis lebih tinggi dari kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II yaitu sebesar 0,60 dan 0,63 sedangkan sebelum melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 0,59 dan 0,62 seperti pada Gambar 7. Berdasarkan analisis ragam pada Lampiran 7 dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap berat jenis kayu.



Gambar 7. Berat Jenis Rata-rata Kayu Nyatoh

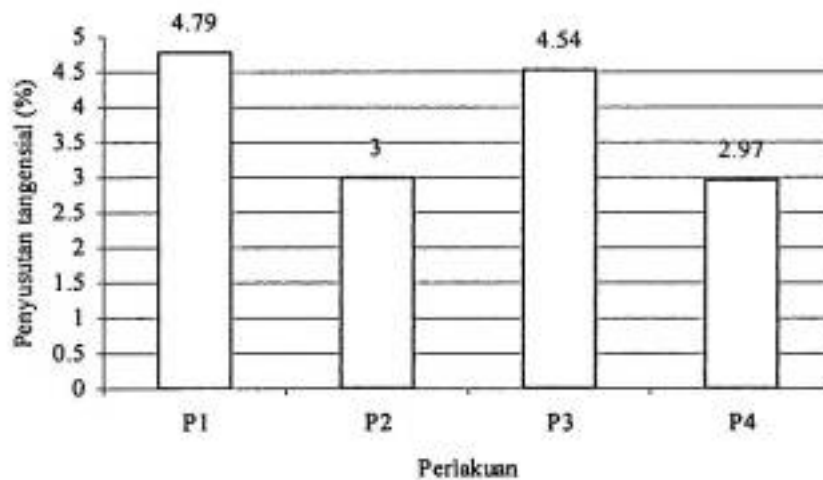
d. Penyusutan dan Pengembangan

1. Penyusutan dan Pengembangan Tangensial

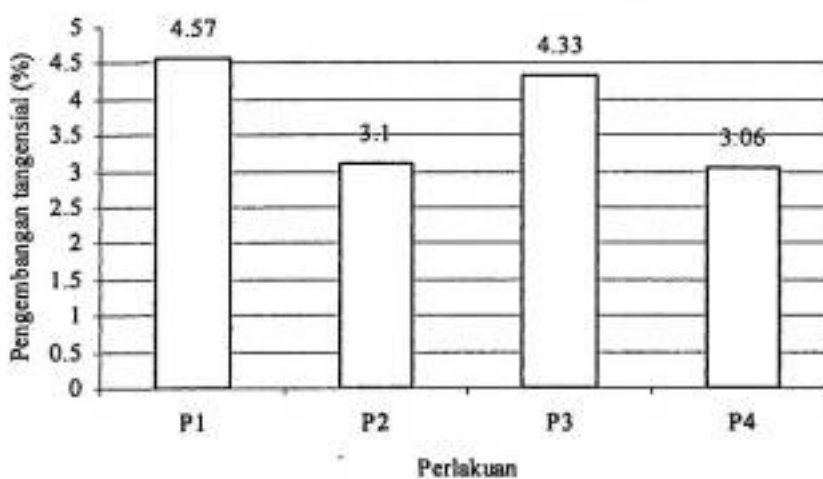
Hasil perhitungan persentase penyusutan dan pengembangan tangensial kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 8. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II memiliki penyusutan dan pengembangan rata-rata lebih tinggi dari kayu setelah melalui proses pengawetan I dan II. Penyusutan tangensial kayu sebelum melalui proses pengawetan I



dan II yaitu sebesar 4,79% dan 4,54% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 3,00% dan 2,97% seperti pada Gambar 8. Pengembangan tangensial kayu sebelum melalui pengawetan I dan II yaitu masing-masing sebesar 4,57% dan 4,33% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 3,10% dan 3,06% seperti terlihat pada Gambar 9. Penurunan persentase penyusutan dan pengembangan tangensial kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan pada proses I lebih tinggi dari proses II yaitu sebesar 1,79% dan 1,47% sedangkan proses II masing-masing sebesar 1,57% dan 1,27%.



Gambar 8. Penyusutan Tangensial Rata-rata Kayu Nyatoh



Gambar 9. Pengembangan Tangensial Rata-rata Kayu Nyatoh

Berdasarkan hasil analisis ragam nilai-nilai penyusutan dan pengembangan tangensial kayu (Lampiran 9 dan 10) dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap penyusutan dan pengembangan tangensial kayu. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan terhadap penyusutan dan pengembangan tangensial kayu, maka dilakukan uji BNJ yang hasilnya disajikan pada Tabel 2 dan 3. Hasil uji BNJ penyusutan dan pengembangan tangensial kayu berdasarkan jenis perlakuannya menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan berbeda sangat nyata dengan kayu yang setelah melalui proses pengawetan. Akan tetapi kayu sebelum pengawetan dan perbedaan proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap penyusutan dan pengembangan tangensial kayu.

Tabel 2. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Tangensial Kayu Nyatoh

Perlakuan	Penyusutan tangensial rata-rata (%)	BNJ 0,01
P1	4,79	a
P3	4,54	a
P2	3,00	b
P4	2,97	b

Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

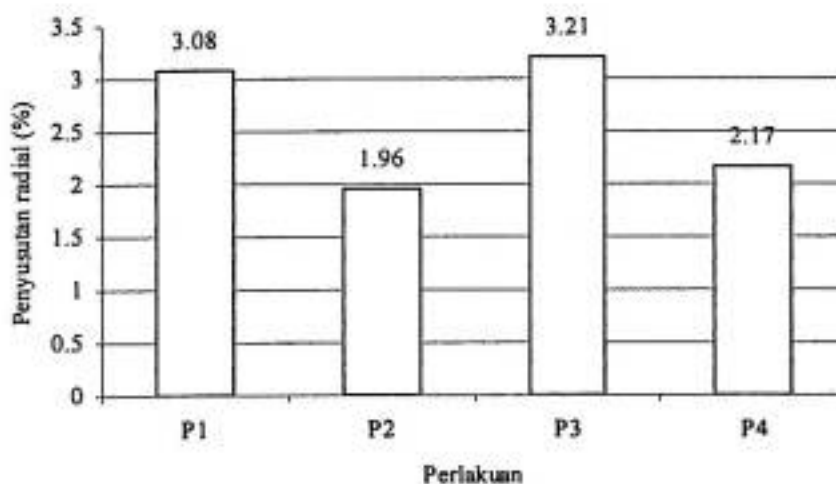
Tabel 3. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Tangensial Kayu Nyatoh

Perlakuan	Pengembangan tangensial rata-rata(%)	BNJ 0,01
P1	4,57	a
P3	4,33	a
P2	3,10	b
P4	3,06	b

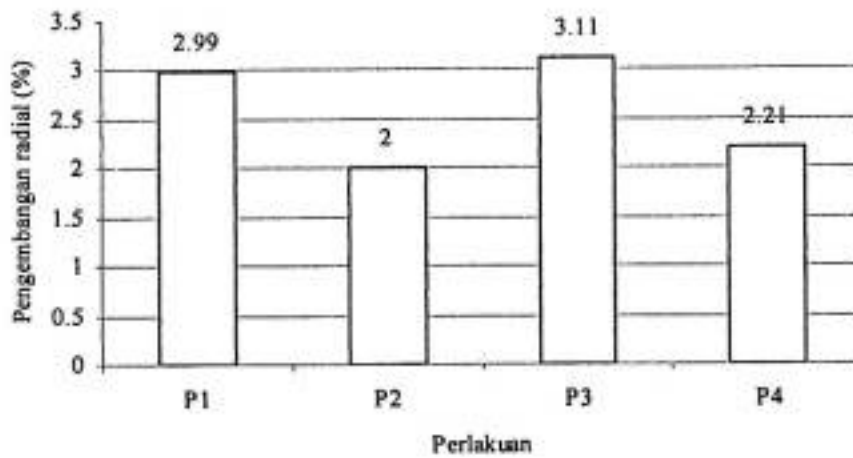
Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

2. Penyusutan dan Pengembangan Radial

Hasil perhitungan persentase penyusutan dan pengembangan radial kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 11. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II memiliki penyusutan dan pengembangan rata-rata lebih tinggi dari kayu yang melalui proses pengawetan I dan II. Penyusutan radial kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II yaitu sebesar 3,08% dan 3,21% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 1,96% dan 2,17% seperti pada Gambar 10. Pengembangan radial kayu sebelum melalui pengawetan I dan II yaitu masing-masing sebesar 2,99% dan 3,11% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 2,00% dan 2,21% seperti terlihat pada Gambar 11. Penurunan persentase penyusutan dan pengembangan radial kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan pada proses I lebih tinggi dari proses II yaitu sebesar 1,12% dan 0,99% sedangkan proses II masing-masing sebesar 1,04% dan 0,90%.



Gambar 10. Penyusutan Radial Rata-rata Kayu Nyatoh



Gambar 11. Pengembangan Radial Rata-rata Kayu Nyatoh

Berdasarkan hasil analisis ragam nilai-nilai penyusutan dan pengembangan radial kayu (Lampiran 12 dan 13) dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap penyusutan dan pengembangan radial kayu. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan terhadap penyusutan dan pengembangan radial kayu, maka dilakukan uji BNJ yang hasilnya disajikan pada Tabel 4 dan 5. Hasil uji BNJ penyusutan dan pengembangan radial kayu berdasarkan jenis perlakuannya menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan berbeda sangat nyata dengan kayu yang setelah melalui proses pengawetan. Akan tetapi kayu sebelum pengawetan dan perbedaan proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap penyusutan dan pengembangan radial kayu.

Tabel 4. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Radial Kayu Nyatoh

Perlakuan	Penyusutan radial rata-rata (%)	BNJ 0,01
P3	3,21	a
P1	3,08	a
P4	2,17	b
P2	1,96	b

Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

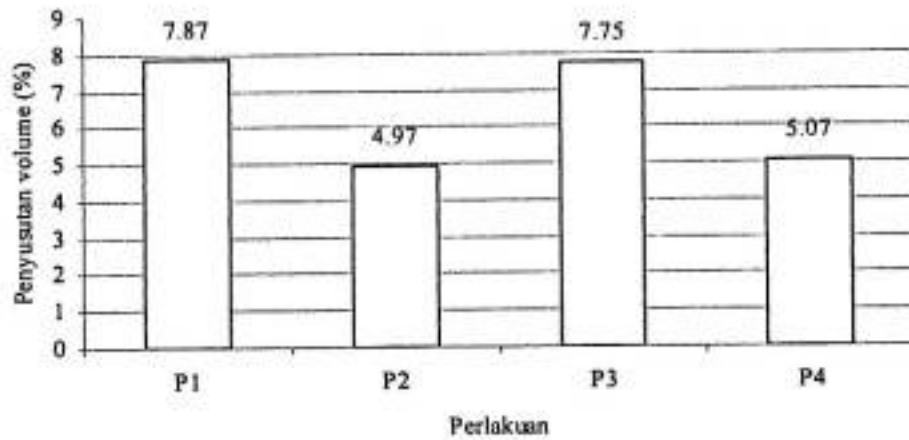
Tabel 5. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Radial Kayu Nyatoh

Perlakuan	Pengembangan radial rata-rata (%)	BNJ 0,01
P3	3,11	a
P1	2,99	a
P4	2,21	b
P2	2,00	b

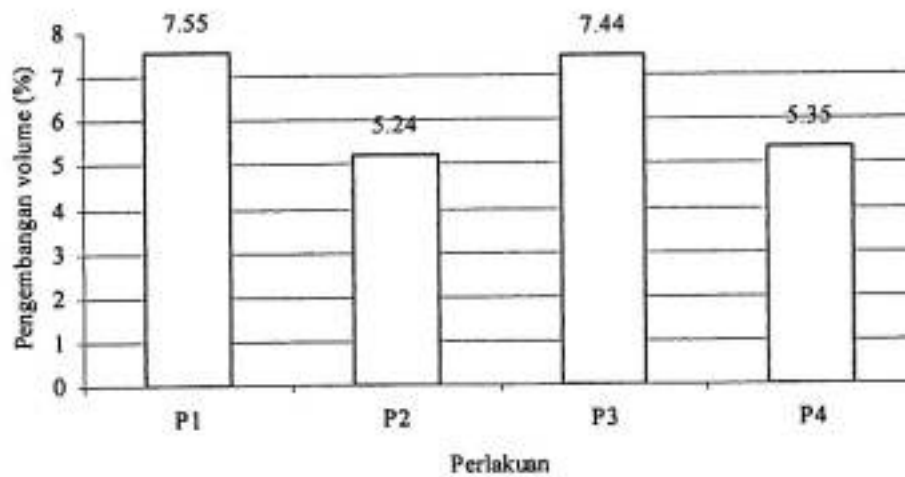
Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

3. Penyusutan dan Pengembangan Volumetrik

Hasil perhitungan penyusutan dan pengembangan volume kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 14. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II memiliki penyusutan dan pengembangan rata-rata lebih tinggi dari kayu yang melalui proses pengawetan I dan II. Penyusutan volume kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan II yaitu sebesar 7,87% dan 7,75% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 4,97% dan 5,07% seperti pada Gambar 12. Pengembangan volume kayu sebelum melalui pengawetan I dan II yaitu masing-masing sebesar 7,55% dan 7,44% sedangkan setelah melalui proses pengawetan I dan II masing-masing sebesar 5,24% dan 5,35% seperti terlihat pada Gambar 13. Penurunan persentase penyusutan dan pengembangan kayu sebelum dan setelah proses pengawetan pada proses I lebih tinggi dari proses II yaitu sebesar 2,90% dan 2,31% sedangkan proses II masing-masing sebesar 2,68% dan 2,09%.



Gambar 12. Penyusutan Volume Rata-rata Kayu Nyatoh



Gambar 13. Pengembangan Volume Rata-rata Kayu Nyatoh

Berdasarkan hasil analisis ragam nilai-nilai penyusutan dan pengembangan volume kayu (Lampiran 15 dan 16) dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap penyusutan dan pengembangan volume kayu. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan terhadap penyusutan dan pengembangan volume kayu, maka dilakukan uji BNJ yang hasilnya disajikan pada Tabel 6 dan 7. Hasil uji BNJ penyusutan dan pengembangan radial kayu berdasarkan jenis perlakuannya menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan berbeda

sangat nyata dengan kayu yang setelah melalui proses pengawetan. Akan tetapi kayu sebelum pengawetan dan perbedaan proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap penyusutan dan pengembangan volume kayu.

Tabel 6. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Penyusutan Volume Kayu Nyatoh

Perlakuan	Penyusutan volume rata-rata (%)	BNJ 0,01
P1	7,87	a
P3	7,75	a
P4	5,07	b
P2	4,97	b

Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

Tabel 7. Hasil Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Pengembangan Volume Kayu Nyatoh

Perlakuan	Pengembangan volume rata-rata (%)	BNJ 0,01
P1	7,55	a
P3	7,44	a
P4	5,35	b
P2	5,24	b

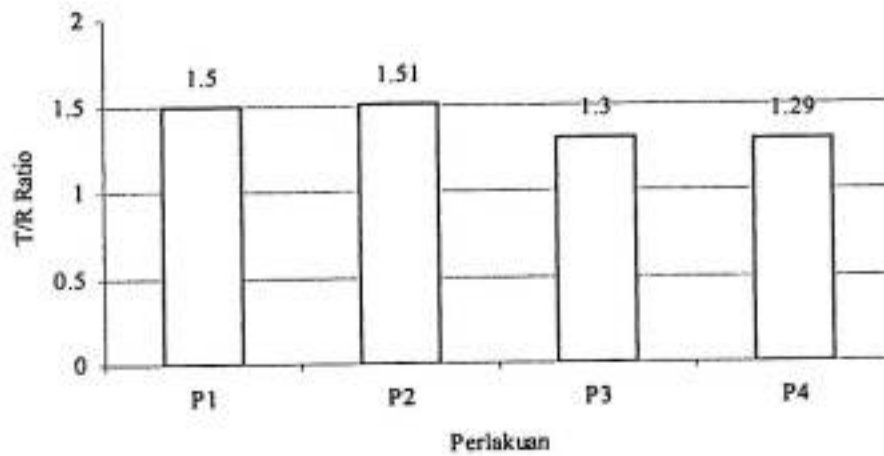
Keterangan : huruf yang sama berarti berbeda tidak nyata pada $\alpha = 0,01$

Hasil pengamatan terhadap perubahan dimensi kayu (penyusutan dan pengembangan tangensial, penyusutan dan pengembangan radial dan penyusutan dan pengembangan volumetrik) menunjukkan bahwa kayu sebelum melalui proses pengawetan memiliki persentase perubahan dimensi yang lebih tinggi dari kayu setelah melalui proses pengawetan. Hal ini disebabkan oleh kayu sebelum melalui proses pengawetan memiliki persentase kadar air lebih tinggi dari kayu setelah melalui proses pengawetan. Dimana, semakin kecil kadar air kayu maka perubahan dimensi juga

semakin kecil. Hal ini sejalan dengan yang dikemukakan oleh Haygreen dan Bowyer (1987) yang menyatakan bahwa hubungan antara penyusutan dan pengembangan dengan kadar air kayu adalah linier, semakin kecil kadar air kayu maka penyusutan dan pengembangan kayu semakin kecil. Sedangkan pengamatan terhadap perbedaan proses pengawetan terhadap perubahan dimensi kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan menunjukkan bahwa penurunan persentase perubahan dimensi proses I lebih tinggi dari proses II. Hal ini disebabkan oleh penurunan persentase kadar air kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan pada proses I lebih tinggi dari proses II sehingga penurunan persentase perubahan dimensi kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan pada proses I juga lebih tinggi dari proses II.

e. T/R Ratio

Hasil perhitungan T/R ratio kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan dapat dilihat pada Lampiran 17. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu setelah melalui proses pengawetan I memiliki T/R ratio rata-rata lebih tinggi dari kayu yang sebelum melalui proses pengawetan I dan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan II yaitu sebesar 1,51 sedangkan kayu sebelum melalui proses pengawetan I dan sebelum dan setelah melalui proses pengawetan II masing-masing sebesar 1,50, 1,30 dan 1,29 seperti pada Gambar 14. Berdasarkan analisis ragam pada Lampiran 18 dapat diketahui bahwa perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap T/R ratio kayu.



Gambar 14. T/R Ratio Rata-rata Kayu Nyatoh

Hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa perlakuan kayu sebelum dan setelah melalui proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap kerapatan, berat jenis dan T/R ratio kayu yang diawetkan, tetapi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air dan perubahan dimensi kayu. Sedangkan perbedaan proses pengawetan berpengaruh tidak nyata terhadap sifat fisik kayu. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa dengan memodifikasi lamanya penerapan suhu dan tekanan awal (15°C dan 60 kg/cm²) hingga 30 menit tidak berpengaruh negatif terhadap sifat fisik kayu. Adanya pengaruh positif pada kadar air dan perubahan dimensi dari penggunaan CO₂ terjadi karena dengan perlakuan impregnasi dengan CO₂ dapat memperkecil persentase kadar air dan perubahan dimensi kayu, walaupun penurunan persentase kadar air dan perubahan dimensi kedua proses berbeda (penurunan persentase kadar air dan perubahan dimensi proses I lebih tinggi dari proses II). Meskipun demikian, proses yang dilakukan dengan mempertahankan suhu dan tekanan awal selama 30 menit dapat menyebabkan gradien tekanan yang besar sehingga kayu *collapse*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan proses pengawetan menggunakan CO₂ sebagai pelarut pembawa dengan memodifikasi lamanya penerapan suhu dan tekanan awal menyebabkan pengaruh yang berbeda terhadap sifat fisik kayu yang diawetkan, tetapi tidak menunjukkan pengaruh yang negatif terhadap sifat fisik kayu.
2. Perubahan proses pengawetan ke arah penggunaan tekanan yang tinggi dapat menyebabkan kayu *collapse*.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut sangat diperlukan, seperti penelitian tentang hubungan kerapatan CO₂ yang diimpregnasikan dengan sifat-sifat kayu yang diawetkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chipperfield, J.R. 1999. **Non-aqueous Solvent**. Oxford University Press Inc, New York.
- Departemen Kehutanan dan Perkebunan. 1999. **Panduan Kehutanan Indonesia**. Koperasi Karyawan Departemen Kehutanan dan Perkebunan, Jakarta.
- Departemen Pertanian. 1976. **Vandemekum Kehutanan Indonesia**. Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Kehutanan, Jakarta.
- Dumanauw, J.F. 1990. **Mengenal Kayu**. Pendidikan Industri Kayu Atas, Penerbit Kanisius, Semarang.
- Gaspersz, V. 1994. **Metode Perancangan Percobaan**. Untuk Ilmu-ilmu Pertanian, Ilmu-ilmu Teknik dan Biologi, Penerbit CV. Armico, Bandung.
- Haygreen, J.G dan L.J. Bowyer. 1987. **Forest Product and Wood Science**. An Introduction. Iowa State University Press, USA. Ahli Bahasa : S.A Hadikusumo. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hunt, G.M dan G.A. Garrat. 1986. **Pengawetan Kayu**. Ahli Bahasa : Jusuf, M. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Kitao, O.K. Tanabe, S. Ono, S. Kumakura dan K. Nakanishi, 1998. **Theoretical Studies on the Cluster Structure in the Supercritical Area**. Fluid Phase Equilibria 144 (1 - 2) : 279 - 289.
- Larsen, A., N.A Jentoft dan T. Geibokk. 1992. **Extraction of Formaldehyde from Particleboard with Supercritical Carbon Dioxide**. Forest Product Japan. 38 (22) : 23-24.
- Martawijaya, A. 1996. **Keawetan Kayu dan Faktor yang Mempengaruhi**, Petunjuk Teknis. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Hasil Ekonomi Kehutanan, Bogor.
- Martawijaya, A., I. Kartasujana, K. Kadir, S.A. Prawira. 1981. **Atlas Kayu Indonesia**. Jilid 1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Minamite, Y., T. Kanzaki dan Y. Katsuda. 1990. **Application of a Novel Silaneophane (Hoe-498) to Termicides**. Japan Journal Environmental Entomology and Zoology. 2 : 117-122.
- Muin, M. 2003. **Alternative Approach to the Preservative Treatment of Wood Based Composites Using Supercritical Carbon Dioxide**. Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar (Tidak Diterbitkan).

- Muin, M., A.Adachi, M.Inoue, T. Yoshimura dan K. Tsunoda. 2003. **Feasibility of Supercritical Carbon Dioxide to the Preservative Treatment of Wood Based Composites**. Int. Res. Group on Wood Preservation, Document No. IRG/WP 01-40199.
- Muin, M dan A. Arif. 2006. **Keterawetan Kayu Tropis dengan Proses Pengawetan Menggunakan Karbon Dioksida sebagai Pelarut Pembawa**. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis, 4 (2) : 66-67.
- Muin, M dan K. Tsunoda, 2003a. **Preservative Treatment of Wood-Based Composites with 3-Iodo-Propynyl Butylcarbamate Using Supercritical Carbon Dioxide Impregnation**. Journal of Wood Science, 49 : 430-436.
-
- _____ . 2003b. **Termicidal Performance of Wood-Based Composites Treated with Silafluofen Using Supercritical Karbon Dioxide**. Holzforschung, 57 : 585-592.
-
- _____ . 2004a. **Biological Resistance of Wood-Based Composites with an IPBC –Silafluofen Formulation Using Supercritical Carbon Dioxide**. Journal of Wood Science 50 : 535-539.
-
- _____ . 2004b. **Retension of Silafluofen in Wood Based Composites after Supercritical Karbon Dioxide Impregnation**. Forest Product Journal, 54 : 168-171.
- Panshin, A.J., dan C. de Zeeuw. 1980. **Text Book of Wood Technology**, Mc. Graw-Hill, Book Company, New York.
- Pendidikan Industri Kayu Atas. 1979. **Mengenal Sifat-sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya**. Penerbit Kanisius, Semarang.
- Suranto, Y. 2002. **Pengawetan Kayu**. Bahan dan Metode. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Tantra, G.M. 1980. **Flora Pohon Indonesia**. Volume I. Lembaga Penelitian Hasil Hutan, Bogor.
- Wahyuni, I.Z. 2006. **Perubahan Sifat Fisik dan Stabilitas Dimensi Kayu akibat Pengawetan Menggunakan Karbondioksida sebagai Pelarut**. Skripsi Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar (Tidak diterbitkan).
- Wiryomartono. 1976. **Konstruksi Kayu**. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kadar Air Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Kadar Air (%)			
	P1	P2	P3	P4
1	12.31	9.13	11.15	8.71
2	12.32	9.90	12.27	10.09
3	11.93	8.67	12.36	10.23
4	13.36	10.33	12.44	9.13
5	11.29	8.24	12.05	9.77
6	10.03	8.83	12.51	10.20
7	11.21	8.40	11.79	9.38
8	12.98	10.28	11.35	8.94
9	11.90	9.86		
Total	107.34	83.65	94.92	76.46
Rata-rata	11.93	9.29	11.86	9.56

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 2. Analisis Ragam Kadar Air Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	52.60	17.53	29.22**	2.92	4.51
Galat	30	17.90	0.60			
Total	33	70.50	18.13			

**^{*)} Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 3. Kerapatan Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Kerapatan (g/cm^3)			
	P1	P2	P3	P4
1	0.51	0.51	0.73	0.74
2	0.74	0.73	0.63	0.64
3	0.66	0.66	0.66	0.63
4	0.71	0.71	0.73	0.73
5	0.63	0.63	0.73	0.74
6	0.73	0.75	0.66	0.67
7	0.65	0.65	0.64	0.64
8	0.63	0.63	0.71	0.70
9	0.66	0.65		
Total	5.92	5.92	5.49	5.49
Rata-rata	0.66	0.66	0.69	0.69

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 4. Persentase Volume Rongga Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	% Volume rongga			
	P1	P2	P3	P4
1	68.35	68.35	52.07	52.07
2	48.69	48.69	57.02	57.02
3	53.89	53.89	57.68	57.68
4	53.25	53.25	52.74	52.74
5	55.83	55.83	45.21	45.21
6	50.78	50.78	53.96	53.96
7	56.17	56.17	56.93	56.93
8	57.33	57.33	54.18	54.18
9	58.64	58.64		
Total	502.93	502.93	429.79	429.79
rata-rata	55.88	55.88	53.72	53.72

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 5. Analisis Ragam Kerapatan Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	0.007	0.002	0.05 ^{tn}	2.92	4.51
Galat	30	0.11	0.04			
Total	33	0.117	0.042			

^{tn}) tidak nyata pada taraf 5%

Lampiran 6. Berat Jenis Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Berat Jenis			
	P1	P2	P3	P4
1	0.46	0.47	0.66	0.68
2	0.66	0.66	0.57	0.58
3	0.59	0.61	0.59	0.57
4	0.63	0.64	0.65	0.67
5	0.57	0.58	0.65	0.68
6	0.67	0.69	0.59	0.61
7	0.58	0.60	0.57	0.58
8	0.56	0.57	0.64	0.65
9	0.59	0.60		
Total	5.31	5.42	4.92	5.02
Rata-rata	0.59	0.60	0.62	0.63

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 7. Analisis Ragam Berat Jenis Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	0.007	0.002	0.67 ^{ln}	2.92	4.51
Galat	30	0.089	0.003			
Total	33	0.096	0.005			

^{ln}) tidak nyata pada taraf 5%

Lampiran 8. Penyusutan dan Pengembangan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Penyusutan (%)				Pengembangan (%)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1	4.45	2.78	3.98	2.21	4.25	2.86	3.82	2.26
2	4.95	2.93	4.60	3.25	4.71	3.02	4.40	3.36
3	5.24	2.55	4.98	3.51	4.98	2.61	4.74	3.64
4	4.95	3.50	4.61	3.12	4.71	3.63	4.41	3.22
5	4.45	3.20	4.88	2.69	4.26	3.30	4.65	2.77
6	4.28	2.46	5.95	3.42	4.11	2.53	5.61	3.54
7	4.83	2.77	4.24	3.28	4.60	2.85	4.07	3.40
8	5.21	3.36	3.04	2.25	4.95	3.47	2.95	2.31
9	4.77	3.47			4.52	3.60		
Total	43.13	27.02	36.28	23.73	41.09	27.87	34.65	24.5
Rata-rata	4.79	3.00	4.54	2.97	4.57	3.10	4.33	3.06

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 9. Analisis Ragam Penyusutan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	24.44	8.15	27.17**	2.92	4.51
Galat	30	8.99	0.3			
Total	33	33.33	8.45			

***) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 10. Analisis Ragam Pengembangan Tangensial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	16.3	5.43	19.39**	2.92	4.51
Galat	30	8.4	0.28			
Total	33	24.7	5.71			

**) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 11. Penyusutan dan Pengembangan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Penyusutan (%)				Pengembangan (%)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1	3.71	2.09	3.14	1.65	3.58	2.14	3.04	1.67
2	3.34	2.24	3.34	2.47	3.23	2.3	3.23	2.54
3	2.07	1.02	2.93	2.42	2.03	1.04	2.85	2.48
4	3.23	2.14	3.04	1.85	3.13	2.19	2.95	1.88
5	3.07	1.79	3.43	1.94	2.97	1.82	3.32	1.97
6	2.72	1.65	3.55	2.57	2.65	1.67	3.43	2.63
7	3.33	1.92	3.17	2.32	3.22	1.95	3.07	2.38
8	3.10	2.36	3.07	2.11	3.01	2.41	2.98	2.15
9	3.15	2.39			3.05	2.45		
Total	27.72	17.6	25.67	17.33	26.87	17.97	24.87	17.70
Rata-rata	3.08	1.96	3.21	2.17	2.99	2.00	3.11	2.21

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 12. Analisis Ragam Penyusutan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	10.28	3.43	24.5**	2.92	4.51
Galat	30	4.27	0.14			
Total	33	14.55	3.57			

**) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 13. Analisis Ragam Pengembangan Radial Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	7.86	2.62	18.71**	2.92	4.51
Galat	30	4.23	0.14			
Total	33	12.09	2.76			

***) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 14. Penyusutan dan Pengembangan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	Penyusutan (%)				Pengembangan (%)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1	8.17	4.91	7.12	3.82	7.83	5.16	6.87	3.97
2	8.29	5.10	7.94	5.64	7.95	5.38	7.63	5.98
3	7.32	3.54	7.91	5.85	7.01	3.67	7.59	6.21
4	8.18	6.17	7.65	4.90	7.84	6.58	7.36	5.15
5	7.52	4.93	8.31	4.59	7.23	5.19	7.97	4.81
6	7.00	4.07	9.50	5.92	6.75	4.24	9.04	6.29
7	8.16	4.62	7.41	5.54	7.83	4.84	7.14	5.86
8	8.31	5.62	6.12	4.29	7.96	5.95	5.93	4.48
9	7.89	5.79			7.57	6.14		
Total	70.84	44.75	61.96	40.55	67.97	47.15	59.53	42.75
Rata-rata	7.87	4.97	7.75	5.07	7.55	5.24	7.44	5.34

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 15. Analisis Ragam Penyusutan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	66.47	22.16	36.33**	2.92	4.51
Galat	30	18.28	0.61			
Total	33	84.75	22.77			

***) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 16. Analisis Ragam Pengembangan Volume Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	41.68	13.89	21.7**	2.92	4.51
Galat	30	19.24	0.64			
Total	33	60.92	14.53			

**) Sangat nyata pada taraf 1%

Lampiran 17. T/R Ratio Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sampel	T/R Ratio			
	P1	P2	P3	P4
1	1.27	1.42	1.23	1.31
2	1.28	1.14	1.28	1.23
3	2.20	2.20	1.56	1.36
4	1.45	1.57	1.48	1.67
5	1.30	1.63	1.12	1.11
6	1.50	1.44	1.52	1.22
7	1.34	1.35	1.25	1.33
8	1.56	1.33	1.00	1.05
9	1.56	1.52		
Total	13.46	13.60	10.44	10.28
Rata-rata	1.50	1.51	1.30	1.29

Keterangan :

P1 = sebelum melalui proses pengawetan I

P2 = setelah melalui proses pengawetan I

P3 = sebelum melalui proses pengawetan II

P4 = setelah melalui proses pengawetan II

Lampiran 18. Analisis Ragam T/R Ratio Kayu Sebelum dan Setelah Melalui Proses Pengawetan

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					5%	1%
Perlakuan	3	0.37	0.13	2.17 ^{tn}	2.92	4.51
Galat	30	1.92	0.06			
Total	33	2.29	0.19			

^{tn}) Tidak nyata pada taraf 5%