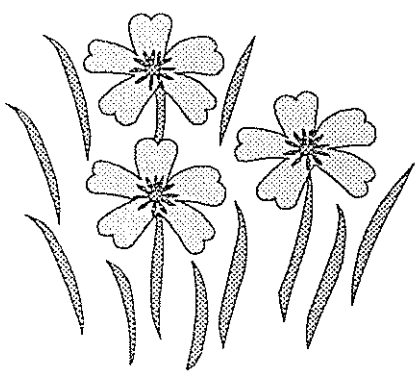
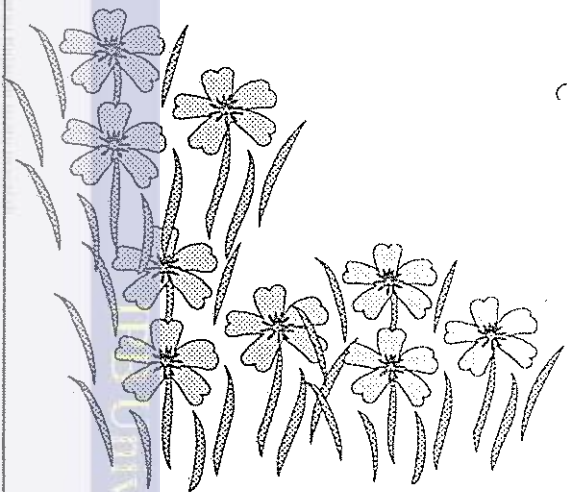


Ya Allah aku berlindung kepadaMu,
Dari perolehan ilmu yang tidak bermanfaat,
Dari hati yang tidak khusyu,
Dari nafsu yang tidak pernah puas,
dan Dari doa yang tidak diuntahkan.



Dan Dialah yang mengajarkan bahasa yang belum engkau ketahui.
Dan kurnia Allah yang dilimpahkan Nya kepada kamu sangatlah besar.
(An-Nisa : 113)

Pelajarilah ilmu itu untuk ketekunan, ketepatan hati dan kelambutan jiwa,
Tunduk dan rendahkanlah dirimu terhadap orang yang putranya kurnia beribu-
(Hadits Umar r.a.)



Kupersembahkan untuk
Bapak dan Mami
Karya kecil yang
tak akan pernah
cukup untuk
membalas jasaamu....

**KAJIAN MUTU PULP UNTUK KERTAS KORAN DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN PROSES
BIOPULPING**

Oleh
ERIKA JULYANTI W.
F 28. 0035



1 9 9 5
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
B O G O R

RINGKASAN

Penggunaan kertas semakin lama semakin meningkat dalam berbagai bidang. Pada tahun 1990, konsumsi kertas mencapai 1 371 400 juta ton dan pada tahun 1994, konsumsi kertas telah mencapai 2 368 600 juta ton (APKI, 1995). Dengan semakin meningkatnya arus informasi pada saat ini, maka salah satu jenis kertas yang paling banyak dibutuhkan adalah kertas koran.

Peningkatan konsumsi kertas juga menyebabkan semakin banyaknya industri pulp untuk berbagai jenis kertas. Masalah yang dihadapi oleh industri pulp dan kertas adalah terbatasnya bahan baku kayu, sehingga dibutuhkan alternatif bahan baku lainnya. Limbah pertanian yang banyak mengandung selulosa dan tersedia sepanjang tahun seperti tandan kosong kelapa sawit dapat dipertimbangkan sebagai bahan baku pulp. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah utama pada industri minyak kelapa sawit. Pada tahun 1990, minyak sawit kasar yang diproduksi Indonesia adalah sebesar 2,23 juta ton per tahun dan ditargetkan akan mencapai 4,5 juta ton per tahun pada tahun 1995. Dari produksi minyak sawit sebesar 4,20 ton dapat dihasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit sebanyak 2,07 ton (Pusat Penelitian Perkebunan Medan, 1992). Masalah lain yang dihadapi dalam industri pulp dan kertas adalah pencemaran lingkungan. Salah satu proses alternatif untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menerapkan proses *biopulping*. *Biopulping* adalah proses pembuatan pulp dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mengurangi lignin dan zat ekstraktif pada bahan baku pulp sebelum diproses lebih lanjut dengan cara mekanis, kimia atau kimia mekanis. Tahap penghilangan lignin dengan menggunakan mikroorganisme disebut biodelignifikasi.

Penelitian ini terdiri atas penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan isolat jamur pelapuk putih (*Coriolus versicolor*, *Phanaerochaete chrysosporium*, galur KTJ02, *Cipanas*, *Super fungi*, dan *Rami putih*) dan media propagasi (media cair kaldu dekstrosa kentang, media padat campuran dedak dan tandan kosong kelapa sawit serta campuran dedak dan serbuk gergaji) serta jumlah inokulum (5, 10 dan 15 persen b/b atau v/b) yang terbaik untuk diterapkan pada proses biodelignifikasi tandan kosong kelapa sawit. Kriteria pemilihan didasarkan pada persentase pengurangan kadar lignin dan selulosa tandan kosong kelapa sawit setelah waktu inkubasi 14 hari. Penelitian utama bertujuan untuk menentukan waktu optimum inkubasi tandan kosong kelapa sawit pada tahap biodelignifikasi dan menentukan konsentrasi optimum larutan pemasak natrium hidroksida pada tahap pembuatan pulp sehingga diperoleh pulp untuk kertas koran dengan sifat fisik dan kimia yang baik.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor dan dua kali ulangan. Faktor pertama adalah waktu inkubasi (A) yang

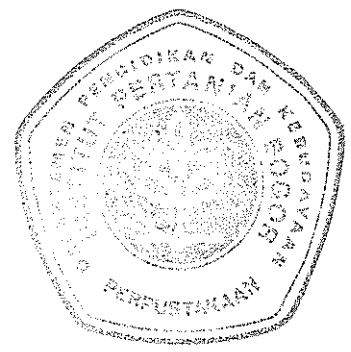


terdiri dari 4 taraf, yaitu 0, 10, 20 dan 30 hari. Faktor kedua adalah konsentrasi larutan pemasak natrium hidroksida (B) yang terdiri dari 3 taraf, yaitu 4, 6 dan 8 persen.

Analisa komponen kimia tandan kosong kelapa sawit menunjukkan bahwa tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang rendah, kadar pentosan yang tinggi serta kandungan lignin dan zat sari yang rendah, sehingga diperkirakan bahwa rendemen pulp yang dihasilkan akan rendah. Walaupun demikian, berdasarkan analisa dimensi serat tandan kosong kelapa sawit dapat diperkirakan bahwa pulp yang dihasilkan akan memiliki sifat fisik yang baik, sehingga tandan kosong kelapa sawit cukup potensial untuk dipergunakan sebagai bahan baku pulp.

Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan, jamur pelapuk putih yang terbaik untuk tahap biodelignifikasi adalah galur *Cipanas* dengan media propagasi cair kaldu dekstrosa kentang dan jumlah inokulum 5 persen. Hasil Analisa Statistik menunjukkan bahwa waktu inkubasi berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen, bilangan kappa, indeks sobek, opasitas cetak dan derajat putih serta berpengaruh nyata terhadap konsumsi alkali dan indeks tarik lembaran pulp. Konsentrasi larutan pemasak natrium hidroksida berpengaruh sangat nyata terhadap konsumsi alkali, bilangan kappa, opasitas cetak dan derajat putih serta berpengaruh nyata terhadap indeks tarik dan indeks sobek pulp. Interaksi antara waktu inkubasi dengan konsentrasi natrium hidroksida tidak berpengaruh nyata terhadap sifat fisik dan kimia pulp

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat fisik dan kimia pulp tandan kosong kelapa sawit dengan berbagai faktor perlakuan yang diterapkan memenuhi spesifikasi kertas koran Indonesia, kecuali spesifikasi derajat putih pulp. Perlakuan terbaik diperoleh dengan kombinasi waktu inkubasi 30 hari dan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen. Rendemen yang dihasilkan adalah sebesar 52,64 persen, bilangan kappa 46,613, indeks tarik 39,51 Nm/g, indeks sobek 6,74 Nm²/ kg, opasitas cetak 98,25 persen dan derajat putih 31,05°GE.





KAJIAN MUTU PULP UNTUK KERTAS KORAN DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN PROSES *BIOPULPING*

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian

Institut Pertanian Bogor

Oleh

ERIKA JULYANTI W.

F 28.0035

1995

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

KAJIAN MUTU PULP UNTUK KERTAS KORAN DARI TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT DENGAN PROSES *BIOPULPING*

SKRIPSI

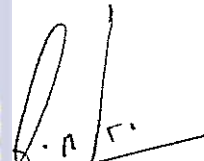
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

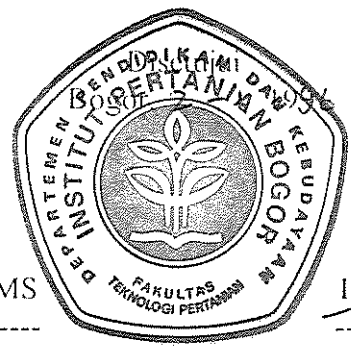
Oleh

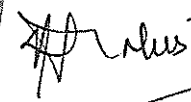
ERIKA JULYANTI W.
F 28.0035

Dilahirkan pada tanggal 5 Juli 1973
di Jakarta

Tanggal lulus : 29 Desember 1995


Ir. Riewan A. Pasaribu, MS
Dosen Pembimbing II




Ir. Liesbetini Hartoto., MS
Dosen Pembimbing I

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. karena berkat rahmat dan hidayah-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis yang telah memberikan bantuan dan dorongan moril maupun materil.
2. Ir. Liesbetini Hartoto, Ms., sebagai dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan bantuan.
3. Ir. Ridwan A. Pasaribu, Ms., sebagai dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan pengarahan.
4. Didiek H. Goenadi, SP. MSc. Ph.D., yang telah banyak memberikan bantuan dan pengarahan.
5. Dr. Ir. Djumali Mangunwidjaja, DEA, sebagai dosen penguji.
6. Kakak-kakak penulis yang senantiasa mendoakan.
7. Sujadi Mulyana Nurgraha yang selalu memberikan dorongan dan bantuan.
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna, sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan. Akhirnya, Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Penulis

DAFTAR ISI

| | Hal |
|---|------|
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| A. LATAR BELAKANG | 1 |
| B. TUJUAN | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| A. TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT | 4 |
| B. KOMPONEN KIMIA BAHAN LIGNOSELULOSA | 5 |
| 1. Selulosa | 5 |
| 2. Hemiselulosa | 6 |
| 3. Lignin | 7 |
| 4. Zat ekstraktif | 7 |
| C. JAMUR PELAPUK PUTIH (<i>WHITE ROT FUNGI</i>) | 8 |
| D. <i>BIOPULPING</i> | 10 |
| E. KERTAS KORAN | 12 |
| III. BAHAN DAN METODA | 13 |
| A. ALAT DAN BAHAN | 13 |
| 1. Alat | 13 |
| 2. Bahan Baku | 13 |



Halaman ini merupakan bagian dari dokumen yang bersifat rahasia dan tidak boleh disebarluaskan kepada pihak lain tanpa izin dari IPB University.

| | Hal |
|---|-----------|
| 3. Media dan Bahan Kimia | 13 |
| B. METODA PENELITIAN | 14 |
| 1. Penelitian Pendahuluan | 14 |
| a. Analisa Komponen Kimia dan Dimensi Serat Bahan Baku | 14 |
| b. Seleksi Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi | 15 |
| c. Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih | 17 |
| 2. Penelitian Utama | 17 |
| a. Perlakuan Biologis (Biodelignifikasi) .. | 17 |
| b. Perlakuan Kimia (Pemasakan) | 21 |
| c. Perlakuan Mekanis | 22 |
| d. Pemutihan | 22 |
| e. Pembentukan Lembaran Kertas Koran | 22 |
| f. Pengujian | 22 |
| C. RANCANGAN PERCOBAAN | 23 |
| 1. Perlakuan | 23 |
| 2. Rancangan Percobaan | 23 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 25 |
| A. PENELITIAN PENDAHULUAN | 25 |
| 1. Analisa Bahan Baku | 25 |
| 2. Penentuan Isolat jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi | 27 |
| 3. Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih | 31 |



| | Hal |
|-------------------------------|-----|
| B. PENELITIAN UTAMA | 34 |
| 1. Rendemen | 34 |
| 2. Konsumsi Alkali | 36 |
| 3. Bilangan Kappa | 39 |
| 4. Indeks Tarik | 43 |
| 5. Indeks Sobek | 45 |
| 6. Opasitas Cetak | 48 |
| 7. Derajat Putih | 50 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN | 53 |
| A. KESIMPULAN | 53 |
| B. SARAN | 54 |
| DAFTAR PUSTAKA | 55 |

Halaman ini adalah bagian dari dokumen yang dihasilkan oleh sistem manajemen dokumen IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi situs web IPB University di www.ipb.ac.id.
 2. Dokumen ini merupakan dokumen resmi IPB University dan tidak boleh disebarluaskan atau diubah tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

| | Hal |
|---|-----|
| Tabel 1. Data Produksi impor, konsumsi, dan ekspor kertas di Indonesia | 1 |
| Tabel 2. Komposisi komponen kimia tandan kosong kelapa sawit | 5 |
| Tabel 3. Kandungan komponen kimia tandan kosong kelapa sawit | 25 |
| Tabel 4. Nilai dimensi serat dan parameter turunannya | 26 |
| Tabel 5. Nilai persentase rendemen pulp pada berbagai konsentrasi NaOH dan waktu inkubasi | 34 |
| Tabel 6. Nilai rata-rata konsumsi alkali pulp pada berbagai konsentrasi NaOH dan waktu inkubasi | 36 |
| Tabel 7. Nilai rata-rata Bilangan Kappa pulp pada berbagai waktu inkubasi dan konsentrasi NaOH | 40 |

DAFTAR GAMBAR

| | | Hal |
|------------|---|-----|
| Gambar 1. | Struktur kimia selulosa | 6 |
| Gambar 2. | Struktur molekul antrakinson dan antrahidrokinon serta siklus reaksi antrakinson selama proses kimia pembuatan pulp | 12 |
| Gambar 3. | Diagram alir penentuan jenis isolat jamur pelapuk putih dan media propagasi | 16 |
| Gambar 4. | Diagram alir penentuan jumlah inokulum jamur pelapuk putih | 18 |
| Gambar 5. | Diagram alir penelitian utama | 19 |
| Gambar 6. | Histogram persentase penurunan selulosa oleh galur jamur pelapuk putih <i>Cipanas</i> dan <i>Super fungi</i> | 29 |
| Gambar 7. | Histogram hubungan antara persentase penurunan selulosa dengan media propagasi galur jamur pelapuk putih | 30 |
| Gambar 8. | Histogram hubungan antara persentase penurunan lignin dengan media propagasi galur jamur pelapuk putih | 31 |
| Gambar 9. | Histogram hubungan antara persentase penurunan selulosa dengan jumlah inokulum galur <i>Cipanas</i> | 32 |
| Gambar 10. | Histogram hubungan antara persentase penurunan lignin dengan jumlah inokulum galur <i>Cipanas</i> | 33 |
| Gambar 11. | Histogram hubungan antara rendemen pulp dengan waktu inkubasi | 35 |
| Gambar 12. | Histogram hubungan konsumsi alkali pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida | 37 |
| Gambar 13. | Histogram hubungan konsumsi alkali pulp dengan waktu inkubasi | 38 |

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 14. | Histogram hubungan antara Bilangan Kappa pulp dengan waktu inkubasi | 41 |
| Gambar 15. | Histogram hubungan Bilangan Kappa pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida | 42 |
| Gambar 16. | Histogram hubungan antara indeks tarik lembaran pulp dengan waktu inkubasi | 44 |
| Gambar 17. | Histogram hubungan antara indeks tarik lembaran pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida | 45 |
| Gambar 18. | Histogram hubungan nilai indeks sobek lembaran pulp dengan waktu inkubasi | 46 |
| Gambar 19. | Histogram hubungan nilai indeks sobek lembaran pulp dengan konsentrasi NaOH | 47 |
| Gambar 20. | Histogram hubungan antara opasitas cetak lembaran pulp dengan waktu inkubasi | 49 |
| Gambar 21. | Histogram hubungan antara opasitas cetak lembaran pulp dengan konsentrasi NaOH | 50 |
| Gambar 22. | Histogram hubungan antara derajat putih pulp dengan waktu inkubasi | 51 |
| Gambar 23. | Histogram hubungan antara derajat putih pulp dengan konsentrasi NaOH | 52 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Hal |
|--|-----|
| Lampiran 1. Spesifikasi Kertas Koran | 58 |
| Lampiran 2. Prosedur Analisa Komponen Kimia dan Dimensi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit | 59 |
| Lampiran 3. Prosedur Analisa Sifat Kimia dan Sifat Fisik Pulp | 66 |
| Lampiran 4. Kelas Komponen Kimia Kayu | 70 |
| Lampiran 5. Persyaratan dan Nilai Mutu Serat Sebagai Bahan Baku Pulp | 71 |
| Lampiran 6. Ikhtisar Data Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat | 72 |
| Lampiran 7. Analisa Sidik ragam Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat | 73 |
| Lampiran 8. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat ($\alpha = 0,05$) | 74 |
| Lampiran 9. Ikhtisar Data Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih Galur Cipanas pada Media Cair Kaldu Dekstrosa Kentang | 75 |
| Lampiran 10. Analisa Sidik Ragam Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih Galur Cipanas pada Media Cair Kaldu Dekstrosa Kentang | 76 |
| Lampiran 11. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Cair Kaldu Dekstrosa Kentang ($\alpha = 0,05$).. | 77 |
| Lampiran 12. Ikhtisar Data Sifat Fisik dan Kimia Pulp | 78 |
| Lampiran 13. Analisa Sidik Ragam Sifat Fisik dan Kimia Pulp | 79 |



| | |
|---|----|
| Lampiran 14. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Sifat Fisik dan Kimia Pulp ($\alpha = 0,05$) | 80 |
|---|----|

Mula Cipta, Mendukung Keberlanjutan
1. Diizinkan menyalin sebagian atau seluruh karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk keperluan pribadi.
2. Tidak diperbolehkan untuk menyalin, mendistribusikan, atau memodifikasi karya yang terdapat dalam dokumen ini.
3. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan komersial.
4. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan hukum.
5. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan politik.
6. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan agama.
7. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan rasial.
8. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan etnis.
9. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan bahasa.
10. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan budaya.
11. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan lingkungan.
12. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan kesehatan.
13. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan pendidikan.
14. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan penelitian.
15. Tidak diperbolehkan untuk menggunakan karya yang terdapat dalam dokumen ini untuk tujuan pengembangan.

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Penggunaan kertas semakin lama semakin meningkat dalam bidang industri, teknologi dan budaya, serta semakin meluas dalam bidang pendidikan, hiburan dan komunikasi. Peningkatan konsumsi kertas juga menyebabkan semakin banyaknya industri pulp untuk berbagai jenis kertas di Indonesia. Salah satu jenis kertas yang banyak dibutuhkan adalah kertas koran.

Kertas koran pertama kali diproduksi di Indonesia pada tahun 1984/1985. Pada waktu itu produksi baru dapat mencukupi kebutuhan konsumsi sebesar 77,4 persen. Konsumsi kertas jenis ini semakin meningkat dengan meningkatnya tingkat pendidikan dan arus informasi. Data produksi, impor, konsumsi dan ekspor Indonesia untuk seluruh jenis kertas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Produksi, impor, konsumsi, dan ekspor kertas di Indonesia (dalam juta ton)*

| Tahun | Produksi | Impor | Konsumsi | Ekspor |
|-------|-----------|---------|-----------|---------|
| 1990 | 1 438 000 | 123 600 | 1 371 400 | 190 300 |
| 1991 | 1 749 000 | 114 900 | 1 479 100 | 384 800 |
| 1992 | 2 262 800 | 144 600 | 1 844 400 | 533 000 |
| 1993 | 2 572 100 | 111 600 | 2 091 700 | 591 800 |
| 1994 | 3 023 500 | 171 300 | 2 368 600 | 826 200 |

* Asosiasi Pengusaha Kertas Indonesia, 1994

Produksi dan konsumsi kertas di masa yang akan datang antara lain dipengaruhi oleh biaya energi, biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan lingkungan dan yang utama adalah biaya produksi pulp sebagai bahan baku kertas (Fengel dan Wegener, 1984). Biaya produksi pulp sangat ditentukan oleh harga bahan baku pulp, yaitu bahan yang mengandung selulosa, terutama kayu.

Pengadaan bahan baku merupakan masalah utama dalam industri pulp dan kertas karena alam memiliki kemampuan yang terbatas dalam menyediakannya. Hal ini menyebabkan harga bahan baku pulp menjadi meningkat dan biaya produksi menjadi lebih tinggi. Semakin terbatasnya bahan baku pulp menyebabkan pembuatan pulp dengan mengandalkan bahan baku tradisional, yaitu kayu, tidak akan mencukupi kebutuhan, sehingga diperlukan alternatif bahan baku pulp yang lainnya. Limbah pertanian yang banyak mengandung selulosa serta tersedia dalam jumlah banyak sepanjang tahun seperti tandan kosong kelapa sawit dapat dipertimbangkan sebagai bahan baku pulp.

Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu limbah lignoselulosa yang berasal dari proses pengolahan buah sawit menjadi minyak sawit. Perkembangan industri kelapa sawit yang cukup potensial sebagai penghasil devisa negara, menyebabkan luas areal dan produksi kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat. Menurut Pusat Penelitian Perkebunan (1992), pada tahun 1990, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 1 143 750 hektar dengan produksi minyak sawit kasar 2,23 juta ton pertahun. Pada tahun 1995, pemerintah menargetkan akan memproduksi minyak sawit sebesar 4,5 juta ton pertahun. Dari satu hektar kebun kelapa sawit yang menghasilkan 20 ton tandan buah segar pertahun dapat dihasilkan 4,20 ton minyak sawit dengan limbah tandan kosong kelapa sawit sebanyak 2,07 ton.

Tandan kosong kelapa sawit saat ini dipergunakan sebagai sumber energi (bahan bakar langsung) atau sebagai pupuk, tetapi nilai ekonomis yang diperoleh masih rendah. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku pulp diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis bahan tersebut serta mengurangi pencemaran lingkungan.

Masalah lain dalam industri pulp dan kertas adalah pencemaran lingkungan akibat pemakaian larutan pemasak dengan konsentrasi yang tinggi. Dengan semakin ketatnya peraturan tentang masalah lingkungan, prosedur pembuatan pulp memerlukan modifikasi dan kombinasi agar dapat mengurangi terjadinya pencemaran

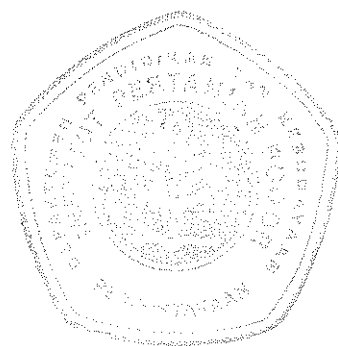
lingkungan. Salah satu alternatif proses pembuatan pulp untuk mengatasi masalah tersebut adalah proses *biopulping*.

Prinsip proses *biopulping* adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk mengurangi lignin dan zat ekstraktif pada bahan baku pulp sebelum diproses lebih lanjut dengan cara mekanis, kimia atau kimia mekanis. Proses *biopulping* diharapkan efektif mengurangi pencemaran sehingga dapat memenuhi standar perdagangan pada saat ini yang harus memenuhi persyaratan lingkungan dan ditandai dengan ekolabel. Ekolabel merupakan tanda bahwa produk tersebut aman bagi lingkungan baik dalam proses pembuatannya, pemanfaatannya, maupun limbahnya.

B. TUJUAN

Tujuan dari pengkajian masalah khusus ini adalah :

1. Menentukan isolat jamur pelapuk putih, media propagasi dan jumlah inokulum yang terbaik untuk diterapkan pada proses biodelignifikasi tandan kosong kelapa sawit.
2. Menentukan waktu inkubasi optimal pada proses biodelignifikasi tandan kosong kelapa sawit dengan isolat jamur pelapuk putih, media propagasi dan jumlah inokulum terpilih.
3. Menentukan konsentrasi optimal larutan pemasak natrium hidroksida pada tahap pembuatan pulp untuk kertas koran dengan proses kimia mekanis dengan bahan baku tandan kosong kelapa sawit hasil biodelignifikasi sehingga diperoleh pulp untuk kertas koran dengan sifat fisik dan kimia yang baik.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Menurut Lubis, (1992), tanaman kelapa sawit diperkirakan berasal dari Guinea, pantai barat Afrika. Tanaman ini memiliki nama latin *Elaeis guineensis* JACQ, dengan taksonomi sebagai berikut :

- Divisio : *Tracheophyta*
- Sub divisio : *Pteropsida*
- Kelas : *Angiospermae*
- Sub kelas : *Monocotyledoneae*
- Ordo : *Cocoideae*
- Famili : *Palmae*
- Sub famili : *Cocoideae*
- Genus : *Elaeis*
- Species : *Elaeis guineensis* JACQ

Tanaman kelapa sawit tumbuh tegak lurus dan dapat mencapai ketinggian 15 sampai 20 meter. Bunga kelapa sawit mulai muncul pada tanaman yang berumur 12 sampai dengan 14 bulan, tetapi umur ekonomis untuk dipanen adalah 25 tahun (Lubis, 1992).

Tandan kosong kelapa sawit memiliki panjang rata-rata 50 cm dan lebar 35 cm dengan bobot mulai dari beberapa kilogram sampai dengan 100 kilogram. Pada tanaman dewasa, bobot tandan adalah sebesar 60 - 70 persen (Hartley, 1988).

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah utama dari industri pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit. Persentase limbah tandan kosong kelapa sawit adalah 23 persen dari tandan buah segar, sedangkan persentase cangkang dan biji secara berturut-turut adalah sebesar 13,5 dan 5,5 persen. Komponen utama dari limbah padat kelapa sawit adalah selulosa dan lignin, sehingga limbah ini disebut juga sebagai limbah lignoselulosa (Darnoko, 1992).

Tanaman yang berasal dari subkelas Monocotyledoneae mengandung 25 - 40 persen selulosa, 25- 50 persen hemiselulosa dan 3 - 10 persen lignin (Cowling, 1975). Komposisi komponen kimia tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi komponen kimia tandan kosong kelapa sawit*

| Komponen | Komposisi (% berat kering) |
|-----------------|----------------------------|
| Holosekulosa | 72,29 |
| - Selulosa alfa | 36,81 |
| - Pentosan | 27,01 |
| Lignin | 15,70 |
| Kadar sari | 5,00 |
| Abu | 6,04 |

*) Pratiwi *et al.* (1988)

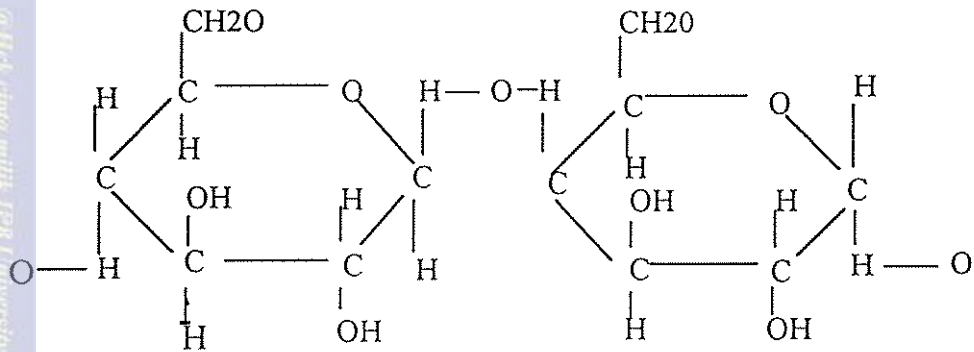
B. KOMPONEN KIMIA BAHAN LIGNOSELULOSA

Sebagian besar bahan bahan berselulosa yang terdapat di alam memiliki tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Ketiga komponen tersebut disebut lignoselulosa dan merupakan komponen penyusun dinding sel tanaman. Gabungan antara selulosa dan hemiselulosa disebut holoselulosa. Selain komponen lignoselulosa, komponen lainnya adalah zat ekstraktif (kadar sari) yang terdapat pada rongga sel dan ruang antar sel kayu (Grace dan Malcolm, 1983).

1. Selulosa

Selulosa merupakan bahan kimia organik terbesar di dunia dan merupakan komponen utama penyusun kayu. Berdasarkan struktur kimianya, selulosa memiliki bobot molekul yang tinggi dan merupakan homopolimer rantai panjang dengan monomer glukosa yang saling berikatan dengan ikatan β 1,4 glukosidik.

Struktur kimia selulosa dapat dilihat pada Gambar 1. (Mc Donald dan Franklin, 1969).



Gambar 1. Struktur kimia selulosa (Mc Donald dan Franklin, 1969)

Berdasarkan struktur fisiknya, selulosa tersusun sebagai unit-unit misela yang bergabung membentuk mikrofibril. Gabungan mikrofibril-mikrofibril tersebut secara bersama-sama membentuk serat selulosa (Fengel dan Wegener, 1984).

Berdasarkan kemampuan kelarutannya, selulosa dapat dibedakan menjadi selulosa alfa, beta dan gamma. Selulosa alfa tidak larut dalam larutan sodium hidroksida pekat, beta selulosa larut dalam medium alkali tetapi tahan terhadap larutan netral, sedangkan gamma selulosa mudah larut walaupun dalam larutan netral (Fengel dan Wegener, 1984).

Menurut Casey (1980), tujuan perlakuan kimia dalam pembuatan pulp adalah untuk memperoleh serat-serat selulosa sebanyak mungkin dengan melarutkan sebanyak mungkin komponen lignin yang mengikat serat. Semakin tinggi kadar selulosa pada bahan baku pulp akan memberikan kekuatan dan rendemen pulp yang tinggi.

2. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan gabungan yang kompleks dari berbagai polisakarida dengan bobot molekul yang lebih rendah daripada selulosa (Mc Donald dan

Franklin, 1969). Komponen penyusun polimer hemiselulosa adalah gula-gula sederhana dengan 5 atau 6 atom karbon (Cowling, 1975).

Dalam proses pembuatan pulp, hemiselulosa memberikan pengaruh yang positif terhadap penyerapan air, pengembangan dan sifat plastisitas serat sehingga mempermudah perlakuan mekanis dan meningkatkan jalinan dan ikatan antar serat serta kekuatan kertas. Komponen hemiselulosa yang paling berpengaruh dalam proses pembuatan pulp adalah pentosan (Mc Donald dan Franklin, 1969).

3. Lignin

Lignin merupakan fraksi non karbohidrat yang bersifat kompleks dan sulit dikarakterisasikan. Pada dasarnya, lignin merupakan polimer aromatik heterogen dengan sistem jaringan yang bercabang serta tidak memiliki bentuk yang tetap. Lignin tersusun dari molekul-molekul yang memiliki bobot molekul yang tinggi dengan unit dasar fenilpropan yang dihubungkan dengan ikatan-ikatan karbon dan eter yang relatif stabil. Lignin banyak terdapat diantara serat dan di dinding sel primer (Mc Donald dan Franklin, 1969).

Selama proses pembuatan pulp, sebagian besar lignin dilarutkan dan dipisahkan. Kandungan lignin yang tinggi pada bahan baku pulp dapat menyebabkan penggilingan lebih lama dan menghasilkan pulp yang lebih kaku sehingga memiliki kekuatan yang rendah serta warna yang kurang baik dan sulit untuk diputihkan (Casey, 1980). Menurut Mc Donald dan Franklin (1969), lignin seringkali menyebabkan timbulnya warna karena terjadi reaksi kondensasi dan oksidasi grup fenolik pada lignin. Intensitas warna semakin meningkat karena adanya tanin dan zat besi.

4. Zat Ekstraktif

Zat ekstraktif adalah senyawa dengan bobot molekul yang bervariasi dari rendah sampai dengan tinggi dan terdapat di luar dinding sel, baik pada rongga antar

sel atau rongga dalam sel. Zat ekstraktif terdiri dari berbagai jenis komponen polimer nonorganik yang dapat diekstraksi dengan air, pelarut organik netral atau diuapkan dengan air panas. Pelarut yang biasa digunakan adalah air dingin, alkohol, etanol/benzena 1:2, eter dan aseton (Mc Donald dan Franklin, 1969).

Komponen zat ekstraktif pada kayu tidak tersebar merata dengan jumlah 3 sampai 10 persen dari bobot kering kayu. Jumlah zat ekstraktif yang besar dapat menyebabkan menurunnya kualitas pulp dan meningkatkan pemakaian larutan pemasak (Fengel dan Wegener, 1984).

C. JAMUR PELAPUK PUTIH (*WHITE ROT FUNGI*)

Jamur pelapuk putih termasuk dalam kelas *Basidiomycetes* tingkat tinggi yang dapat membentuk badan buah. Badan buah kelas *Basidiomycetes* memiliki ukuran yang beraneka ragam, mulai dari yang berukuran diameter mikroskopik sampai dengan yang berukuran diameter sepanjang 3 *feet* (Alexopoulos, 1977). Beberapa jamur pelapuk putih memiliki kemampuan menguraikan lignin secara selektif dan hanya menguraikan selulosa dan hemiselulosa dalam jumlah sedikit, walaupun demikian beberapa jenis jamur pelapuk putih juga dapat menguraikan selulosa dalam jumlah besar (Blanchette dan Burnes, 1988). Beberapa jamur pelapuk putih yang pada saat ini diketahui memiliki kemampuan biodelignifikasi yang baik adalah *Phanaerochaete chrysosporium* dan *Coriolus versicolor* (Nishida et al., 1988).

Penguraian polisakarida dan lignin oleh berbagai jamur pelapuk putih berbeda-beda karena masing-masing memiliki aktivitas enzim yang berbeda (Fengel dan Wegener, 1984). Degradasi lignin dapat terjadi pada daerah yang terbatas sehingga menyebabkan timbulnya rongga atau terjadi pada daerah yang luas (Blanchette dan Burnes, 1988). Menurut Fengel dan Wegener (1988), kayu yang didegradasi oleh jamur pelapuk putih akan berwarna putih dan rapuh serta memiliki kekuatan yang menurun.

Tahap pelapukan kayu oleh jamur pelapuk putih dapat dibedakan menjadi tahap awal dan tahap lanjut. Pada tahap awal, benang-benang hifa akan menyebar ke segala arah terutama ke arah longitudinal dan miselium akan bekerja seperti akar tanaman untuk menghisap zat makanan. Pada tahap ini terjadi perubahan warna kayu. Tahap lanjut ditandai dengan terjadinya perubahan struktur dan penampilan kayu secara total serta terjadi penurunan kekuatan kayu (Alexopoulos dan Mims, 1979).

Mekanisme degradasi lignin secara biologis dapat dibagi menjadi dua tahap. Pertama, degradasi lignin dilakukan oleh enzim mikroorganisme yang menyebabkan seluruh kayu melunak dan pecah. Kedua, mikroorganisme menembus dan berkoloni di dalam sel-sel kayu kemudian mengeluarkan enzim yang berdifusi melalui lumen sel dan menyerang dinding sel (Sachs *et al.*, 1990). Beberapa jenis enzim yang mampu mendegradasi lignin yang dihasilkan oleh jamur *Basidiomycetes* pada umumnya adalah peroksidase (Mn-peroksidase dan lignin peroksidase), fenol oksidase dan laccase (Kirk dan Chang, 1990).

Beberapa faktor fisiologis yang dibutuhkan untuk pertumbuhan jamur antara lain adalah suhu, kelembaban (Rh), oksigen, konsentrasi ion hidrogen (pH), dan nutrisi (Kollman, 1968). Menurut Chang dan Quimio (1982), produksi dan aktivitas enzim lignoselulolitik selain dipengaruhi oleh faktor fisiologis juga dipengaruhi oleh faktor fisik seperti cahaya, aerasi dan lingkungan biologis seperti interaksi dengan mikroorganisme lain.

Menurut Alexopoulos dan Mims (1979), kisaran suhu optimum untuk pertumbuhan jamur adalah antara 20 - 30 °C. Kelembaban yang dibutuhkan oleh jamur berbeda-beda, tetapi hampir semua jenis jamur dapat hidup dalam substrat yang belum jenuh air. Pada umumnya, kadar air kurang dari 20 persen tidak diserang oleh jamur pelapuk putih, sedangkan kadar air yang disukai adalah antara 35 - 50 persen.

Jamur harus dapat mengambil oksigen secara bebas dari udara untuk keperluan respirasi agar pertumbuhannya dapat optimum. Kekurangan oksigen dapat menyebabkan terjadinya akumulasi karbon dioksida sehingga menghambat pertumbuhan jamur. Faktor fisik lain yang mempengaruhi pertumbuhan jamur adalah

cahaya. Kegunaan cahaya adalah untuk pembentukan serta pematangan struktur reproduksi beberapa galur *Basidiomycetes* pelapuk kayu (Chang dan Hayes, 1978).

Pada umumnya, jamur lebih menyukai suasana asam (pH lebih kecil dari 7) untuk pertumbuhannya. Kisaran pH optimum untuk sebagian besar jamur pelapuk kayu adalah 4.5 - 5.5 (Alexopoulos dan Mims, 1979).

D. BIOPULPING

Pulp merupakan bahan berserat yang dihasilkan dari konversi bahan yang mengandung lignoselulosa dengan proses kimia atau mekanis atau gabungan keduanya untuk membuat kertas atau papan serat dengan perlakuan yang sesuai atau untuk keperluan pelarutan (pulp terlarut) yang digunakan untuk membuat rayon, plastik, atau produk-produk sintetik lain. *Pulping* merupakan proses konversi bahan berserat menjadi pulp dengan cara kimia, mekanis, kimia mekanis atau semi kimia (Lavigne, 1991).

Biopulping merupakan proses pemanfaatan jamur pengurai lignin sebagai perlakuan awal pada bahan baku pulp (Kirk dan Chang, 1990). Menurut Singh dan Roymoulik (1993), *biopulping* merupakan proses reduksi kayu menjadi serat-seratnya dengan menggunakan mikroorganisme. Bidelignifikasi merupakan bagian dari *biopulping*, yaitu penghilangan lignin atau senyawa-senyawa sejenisnya untuk membebaskan serat-serat dari ikatannya dengan menggunakan jamur, bakteri atau enzim.

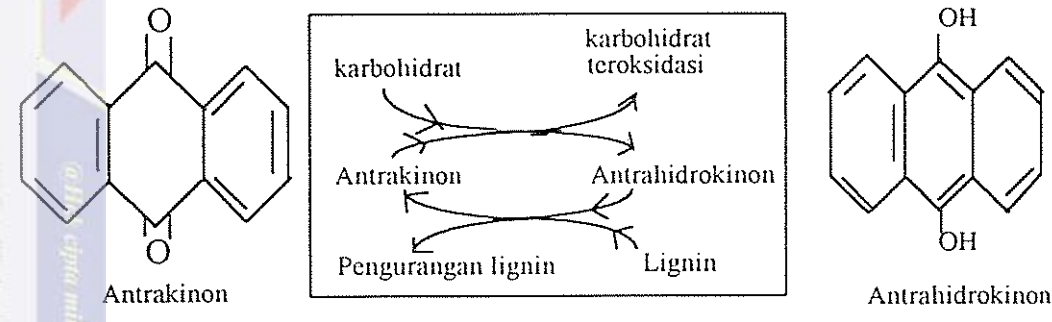
Pemanfaatan mikroorganisme tanpa perlakuan tambahan untuk menghasilkan serat tanpa lignin merupakan tujuan utama, tetapi masih diperlukan waktu yang cukup lama untuk mencapai tujuan tersebut. Selain, itu biodegradasi lignin secara selektif masih sulit dilakukan pada saat ini, sehingga penelitian tentang biopulping masih dikombinasikan dengan proses pembuatan pulp secara tradisional, yaitu cara mekanis, kimia, kimia mekanis atau semi kimia (Kirk dan Chang, 1990). Menurut Nishida et al. (1988), mikroorganisme pelapuk lignin seperti jamur pelapuk putih menguraikan

lignin secara lambat, selain itu beberapa jenis jamur tersebut juga menguraikan karbohidrat dalam jumlah besar. Dengan demikian, masih diperlukan penelitian yang lebih intensif untuk memperbaiki kelemahan tersebut sebelum degradasi lignin oleh jamur pelapuk lignin diterapkan secara komersial dalam industri pulp.

Proses pengolahan pulp kimia mekanis diawali dengan tahap perlakuan kimia untuk melunakkan ikatan antar serat yang dilanjutkan dengan perlakuan mekanis untuk pemisahan serat dengan atau tanpa tekanan. Rendemen pulp yang dihasilkan dengan proses ini berkisar antara 60 - 70 persen dengan sifat kekuatan, kestabilan warna dan kemudahan untuk diputihkan terletak antara sifat pulp kimia dan pulp mekanis (Siagian, 1989).

Proses soda antrakinon merupakan modifikasi proses soda dengan menambahkan bahan kimia antrakinon untuk meningkatkan delignifikasi oleh larutan alkali sehingga meningkatkan rendemen pulp yang diperoleh. Pada proses soda tanpa penambahan antrakinon, rendemen pulp yang dihasilkan rendah karena delignifikasi pada proses ini juga rendah, terutama pada akhir pemasakan. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi larutan pemasak sebagai akibat banyaknya alkali aktif yang dikonsumsi selama tahap awal pemasakan oleh lignin, zat-zat ekstraktif dan serat-serat selulosa serta adanya zat-zat ekstraktif bersifat asam yang larut. Penambahan antrakinon dalam larutan pemasak soda dengan jumlah yang rendah, yaitu 0,05 - 0,10 persen, akan menghasilkan peningkatan laju delignifikasi, rendemen pulp serta sifat kekuatan pulp yang hampir sama dengan yang diperoleh melalui proses sulfat (Casey, 1980).

Menurut Fullerton (1979), ketika antrakinon ditambahkan pada proses pembuatan pulp, terjadi reaksi antara antrakinon dengan karbohidrat dalam kayu membentuk *alkali soluble* antrakinon yang kemudian bereaksi dengan lignin dan meningkatkan laju delignifikasi. Selain itu juga terjadi regenerasi antrakinon untuk siklus katalitik berikutnya, sementara selulosa dilindungi dari degradasi. Struktur molekul antrakinon dan antrahidrokinon serta siklus reaksi antrakinon selama proses kimia pembuatan pulp dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur molekul antrakinon dan antrahidrokinon serta siklus reaksi antrakinon selama proses kimia pembuatan pulp (Fullerton. 1979).

E. KERTAS KORAN

Menurut Standar Industri Indonesia (SII.0658-82, 1982), kertas didefinisikan sebagai lembaran yang terbuat dari selulosa alam dan /atau serat buatan yang telah mengalami penggilingan dan penambahan bahan tambahan lain yang saling menempel dan jalin-menjalin. Gramatur kertas (massa lembaran kertas dalam gram dibagi dengan satuan luasnya) umumnya kurang dari 224 g/m².

Klush (1976) menyatakan bahwa kertas dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok besar, yaitu .

1. Kertas Budaya (Cultural Paper), yang terdiri dari kertas surat kabar, majalah, buku, kertas tulis dan kertas cetak.
2. Kertas Industri (Industrial Paper), seperti kertas bungkus, kertas karton, kertas pengemas, papan kertas dan kertas khusus.
3. Kertas Lainnya (Other Paper), yang terdiri dari kertas tissue, kertas kebutuhan rumah tangga dan kertas lainnya.

Pada umumnya kertas budaya adalah kertas yang digunakan untuk keperluan kebudayaan secara umum , misalnya surat kabar, buku-buku dan lain-lain. Sebagian besar kertas budaya digunakan oleh industri percetakan (Klush, 1976). Kertas koran adalah kertas khusus untuk mencetak surat kabar. Menurut Siagian (1989), gramatur kertas koran adalah 50 g/m². Spesifikasi kertas koran berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII.0389-80, 1980) dapat dilihat pada Lampiran 1.

1. Mengembangkan dan meningkatkan mutu pendidikan
 2. Meningkatkan mutu pelayanan masyarakat
 3. Meningkatkan mutu penelitian dan pengabdian masyarakat
 4. Meningkatkan mutu kerjasama internasional
 5. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional
 6. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional
 7. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional
 8. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional
 9. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional
 10. Meningkatkan mutu kerjasama dengan lembaga internasional

III. BAHAN DAN METODA

A. ALAT DAN BAHAN

1. Alat

Peralatan yang dipergunakan adalah cawan petri, tabung reaksi, gelas ukur, gelas piala, pipet, *shaker*, botol selai, kapas, penangas air, oven, kertas saring, otoklaf, timbangan, alat ekstraksi (alat Soxhlet) dan peralatan untuk pembuatan pulp, seperti *rotary digester*, *hollander*, *stone refiner*, saringan 60 mesh, sentrifus dan *PFI mill*.

Peralatan untuk analisa sifat fisik pulp antara lain adalah *tearing tester* untuk menguji ketahanan sobek dan *tensile tester* untuk menguji ketahanan tarik.

2. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari perkebunan kelapa sawit Kertajaya, Banten, Jawa Barat. Tandan kosong kelapa sawit tersebut dicacah dengan menggunakan golok sehingga panjangnya menjadi 2,5 cm.

3. Media dan Bahan Kimia

Bahan-bahan yang dipergunakan untuk pemeliharaan dan perbanyakan isolat jamur pelapuk putih adalah agar dekstrosa kentang (Potato Dextrosa Agar), kentang, dekstrosa, serbuk gergaji dan dedak.

Bahan kimia yang dipergunakan untuk analisa pada penelitian ini adalah asam sulfat 72 persen serta campuran etanol 95 persen dan benzena dengan perbandingan 1:2, natrium hidroksida (NaOH) 17,5 persen, 8,3 persen dan 0,5 N, asam asetat 2 N, asam sulfat pekat (94 - 95 persen), kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)

0,4 N, natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N, larutan kanji 0,5 persen, kalium iodida, barium klorida 10 persen, asam klorida (HCl) 0,1 N, dan kalium permanganat (KMnO_4) 0,1 N.

Bahan kimia yang dipergunakan pada tahap pembuatan pulp adalah larutan soda (NaOH) dan antrakinin. Pada tahap pemutihan dipergunakan peroksida dan klordioksida.

B. METODA PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan untuk menentukan isolat jamur pelapuk putih, media propagasi dan jumlah inokulum dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Bogor. Penelitian utama dilaksanakan di Pusat Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Bogor, untuk tahap biodelignifikasi tandan kosong kelapa sawit dan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor, untuk tahap pembuatan pulp. Analisa komponen kimia dan dimensi serat serta pengujian sifat fisik pulp dilaksanakan di Balai Besar Selulosa, Bandung.

1. Penelitian Pendahuluan

a. Analisa Komponen Kimia dan Dimensi Serat Bahan Baku

Tandan kosong kelapa sawit dijadikan serpih dengan menggunakan golok sehingga berukuran kurang dari 30 mm, kemudian dicuci dan dikeringkan. Sebagian serpih tersebut selanjutnya digiling dan disaring dengan saringan berukuran 40-60 mesh untuk keperluan analisa kimia, yaitu analisa kadar holoselulosa, selulosa alfa, pentosan, lignin, zat ekstraktif (sari), abu, sifikat dan kelarutan dalam 1 persen NaOH, air dingin dan air panas. Serpih yang lain diuraikan untuk analisa dimensi serat dan parameter turunannya yang meliputi panjang serat, diameter serat, bilangan runkel, daya tenun, fleksibilitas

dan *mulstheph ratio*. Prosedur analisa kimia dan dimensi serat dapat dilihat pada Lampiran 2.

b. Seleksi Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi

Dalam penelitian pendahuluan ini dilakukan seleksi terhadap enam jenis isolat galur jamur pelapuk putih (*Super fungi*, *Cipanas*, *KTJ02*, *Coriolus versicolor*, *Phanaerochaete chrysosporium* dan *Rami putih*) koleksi Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Bogor. Seleksi didasarkan pada kemampuan pertumbuhan jamur, persentase penurunan selulosa dan lignin pada tandan kosong kelapa sawit. Enam jenis isolat jamur tersebut diperbanyak pada media padat dan media cair. Penggunaan media padat dan cair didasarkan pada kemampuan beradaptasi yang berbeda pada masing-masing jamur sehingga dengan kondisi lingkungan dan jumlah nutrisi yang berbeda, pertumbuhan jamur dan kemampuan delignifikasi juga berbeda. Media padat yang dipergunakan adalah campuran dedak dengan tandan kosong kelapa sawit dan campuran dedak dengan serbuk gergaji, masing-masing dengan perbandingan 1:1. Media cair yang dipergunakan adalah kaldu dekstroza kentang (potato dextrose broth). Setelah diinokulasikan, media padat diinkubasikan selama 14 hari pada suhu ruang, sedangkan media cair diinkubasikan pada *shaker* dengan kecepatan 45 rpm selama 3 hari. Selanjutnya, isolat dari media padat dan media cair tersebut masing-masing diinokulasikan pada 25 gram tandan kosong kelapa sawit dengan jumlah inokulum 10 persen (b/b atau v/b) dan diinkubasikan selama 14 hari pada suhu ruang. Analisa pada tahap ini adalah analisa kadar lignin dan selulosa (prosedur analisa disajikan pada Lampiran 2). Diagram alir penelitian untuk menseleksi isolat jamur pelapuk putih dan media propagasi dapat dilihat pada Gambar 3.

c. Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih

Jamur pelapuk putih yang terpilih pada tahap seleksi dipropagasikan pada media propagasi terpilih dan selanjutnya diinokulasikan pada 50 gram tandan kosong kelapa sawit serta diinkubasikan selama 14 hari. Jumlah inokulum yang dipergunakan adalah 5 persen, 10 persen dan 15 persen (b/b atau v/b). Perhitungan persentase jumlah inokulum dilakukan berdasarkan bobot basah bahan. Parameter yang diamati adalah persentase perubahan kandungan lignin dan selulosa pada tandan kosong kelapa sawit setelah waktu inkubasi. Diagram alir penentuan jumlah inokulum jamur pelapuk putih disajikan pada Gambar 4.

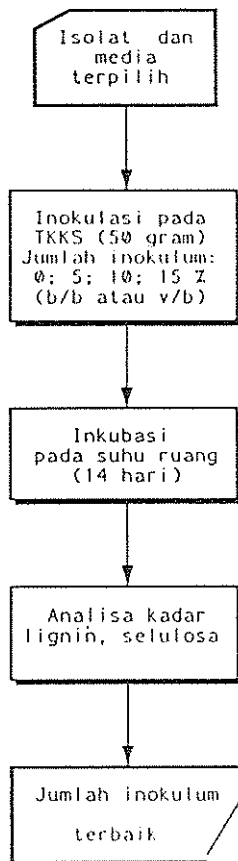
2. Penelitian Utama

Tata laksana penelitian utama terdiri atas perlakuan biologis, perlakuan kimia (pemasakan), perlakuan mekanis, pemutihan, pembentukan lembaran dan pengujian. Diagram alir penelitian utama dapat dilihat pada Gambar 5.

a. Perlakuan Biologis (Biodelignifikasi)

Tandan kosong kelapa sawit sebanyak 7,5 kg yang telah diinokulasikan dengan jamur pelapuk putih, media propagasi dan jumlah inokulum terpilih diinkubasikan selama 10, 20 dan 30 hari pada suhu ruang.

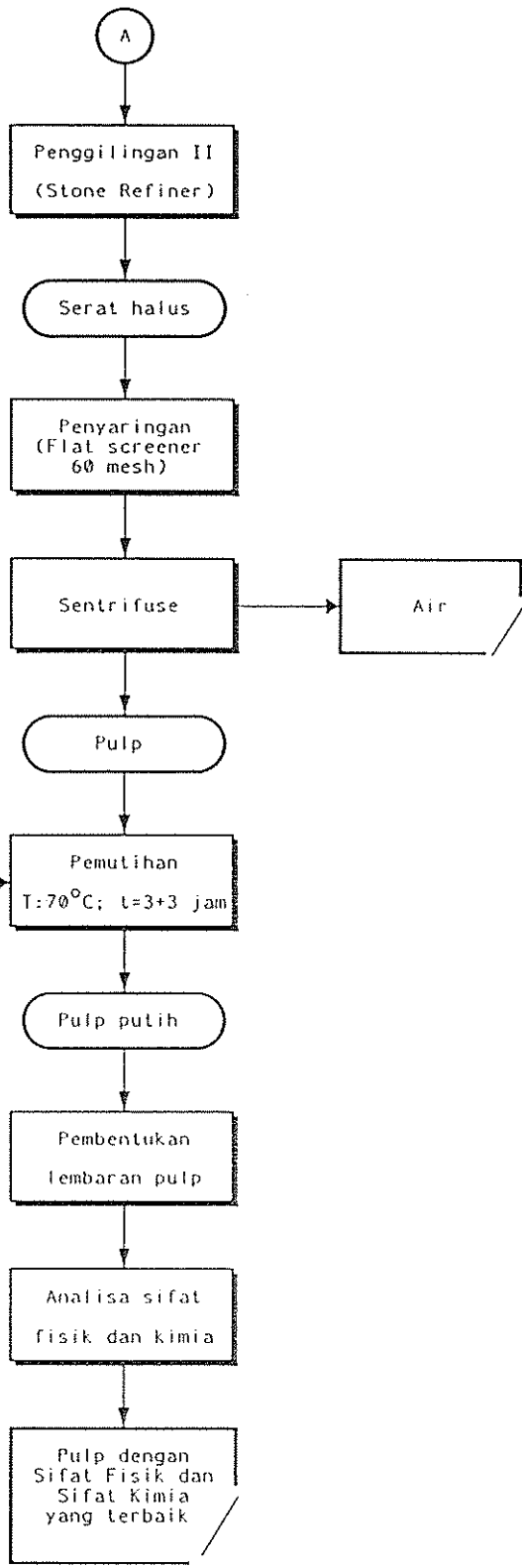
Tandan kosong kelapa sawit yang telah mengalami proses biologis untuk menghilangkan lignin merupakan bahan baku pulp untuk kertas koran. Proses selanjutnya yang dilakukan pada tahap pembuatan pulp adalah proses kimia mekanis dengan menggunakan larutan pemasak natrium hidroksida dan antrakinon.



Gambar 4. Diagram alir penentuan jumlah inokulum



Halaman 10 dari 10 | *Halaman 10 dari 10*



Gambar 5. Lanjutan

b. Perlakuan Kimia (Pemasakan)

Pemasakan dilakukan dalam *rotary digester* agar serpih menjadi lunak.

Kondisi pemasakan adalah sebagai berikut :

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Berat bahan baku kering oven | : 1000 gram |
| Nisbah serpih terhadap larutan | : 1 : 5,5 (b/v) |
| Natrium hidroksida | : 4, 6 dan 8 persen |
| Antrakininon | : 0,1 persen |
| Suhu maksimum pemasakan | : 135°C |
| Waktu menuju suhu maksimum | : 1 jam |
| Waktu pada suhu maksimum | : 1 jam |
| Tekanan | : 7-8 atmosfer |

Jumlah larutan pemasak yang diperlukan dapat diketahui dari perhitungan sebagai berikut (Siagian, 1989):

$$(1) L = 5,5 \times b$$

$$(2) C = b \times (1 - ka)$$

$$(3) A = ka \times C$$

$$(4) \text{Volume NaOH (liter)} = \frac{p \times b}{[\text{NaOH}]}$$

$$(5) \text{Penambahan air (liter)} = L - (\text{NaOH} + A)$$

Keterangan :

L = volume larutan pemasak (liter) .

A = kandungan air dalam bahan (liter).

ka = kadar air bahan (persen).

b = bobot bahan kering tanur (gram).

C = bobot bahan kering udara (gram).

p = persentase penggunaan NaOH berdasarkan bobot bahan kering oven.

c. Perlakuan Mekanis

Setelah pemasakan selesai, serpih lunak dicuci dengan air bersih sehingga bebas dari larutan pemasak dan selanjutnya diberikan perlakuan mekanis berupa penggilingan untuk menguraikan dan menghaluskan serat. Penguraian serat dilakukan dengan menggunakan *hollander* dan penghalusan serat dilakukan dengan *stone refiner*. Setelah penggilingan, pulp disaring dengan *flat screener* berukuran 60 mesh.

d. Pemutihan

Pulp yang diperoleh kemudian diputihkan dengan klordioksida dan peroksida. Proses pemutihan dilakukan dengan memanaskan pulp yang telah ditambahkan larutan peroksida 4 persen selama 3 jam pada suhu 70°C dan dilanjutkan dengan penambahan larutan klordioksida 1,6 persen dengan pemanasan pada suhu 70°C selama 3 jam.

e. Pembentukan Lembaran Kertas Koran

Pulp putih kering oven sebanyak 45 gram digiling dengan PFI *mill* sehingga mencapai derajat giling 90 ml CSF (Canadian Standard Fineness) Selanjutnya, pulp dibuat lembaran berbentuk lingkaran berdiameter 15,85 cm dengan gramatur 50 g/m² dengan menggunakan alat pembentuk lembaran.

f. Pengujian

Pada penelitian utama, diamati sifat kimia pulp yaitu Bilangan Kappa dan konsumsi alkali sedangkan sifat fisik dan mekanis pulp yang diamati meliputi rendemen, kekuatan tarik, sobek, lipat, derajat putih dan opasitas cetak. Prosedur analisa sifat kimia dan fisik pulp dapat dilihat pada Lampiran 3.

C. RANCANGAN PERCOBAAN

1. Perlakuan

Faktor perlakuan yang akan dilihat pengaruhnya pada penelitian utama adalah waktu inkubasi tandan kosong kelapa sawit dan konsentrasi larutan pemasak natrium hidroksida. Waktu inkubasi terdiri dari empat taraf, yaitu 0, 10, 20 dan 30 hari, sedangkan konsentrasi natrium hidroksida terdiri dari tiga taraf, yaitu 4, 6 dan 8 persen (v/b).

2. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan untuk menganalisa data yang diperoleh pada penelitian utama adalah Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua kali ulangan. Waktu inkubasi dinyatakan sebagai faktor A dengan 4 taraf (i), yaitu 0, 10, 20 dan 30 hari. Faktor B adalah konsentrasi natrium hidroksida dengan 3 taraf (j), yaitu 0, 5, 10 dan 15 persen (b/b). Menurut Sudjana (1991), model persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{k(ij)}$$

Dengan :

Y_{ijk} = peubah yang diukur

μ = pengaruh rata-rata

A_i = pengaruh faktor ke A (waktu inkubasi) taraf ke-i

B_j = pengaruh faktor ke B (konsentrasi natrium hidroksida) taraf ke-j

AB_{ij} = pengaruh interaksi faktor A taraf ke-i dengan faktor B taraf ke-j

$\varepsilon_{k(ij)}$ = galat pada perlakuan faktor A dan B karena k ulangan.

i = 1 (0 hari), 2 (10 hari), 3 (20 hari), 4 (30 hari)

$j = 1$ (4 persen), 2 (6 persen), 3 (8 persen)

$k = 1, 2$

Untuk menguji pengaruh dari faktor A dan faktor B serta interaksi kedua faktor terhadap respon digunakan kriteria uji-F dengan analisa keragaman. Dari analisa keragaman diperoleh nilai F_{hitung} lalu dibandingkan dengan nilai F_{tabel} dengan berbagai tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan 99 persen digunakan untuk menyatakan pengaruh atau perbedaan yang sangat nyata, sedangkan tingkat kepercayaan 95 persen digunakan untuk menyatakan pengaruh atau perbedaan yang nyata. Faktor dan interaksi yang berpengaruh nyata selanjutnya diuji lebih lanjut dengan membandingkan nilai rata-rata dari tiap perlakuan dengan Uji Jarak Berganda Duncan. Interaksi perlakuan yang berbeda nyata juga dianalisa dengan analisa polinomial ortogonal.

Hipotesa nol (H_0) dalam penelitian ini adalah tidak ada pengaruh faktor perlakuan yang diterapkan (waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida) terhadap sifat fisik dan kimia lembaran pulp yang dihasilkan. Hipotesa ini ditolak apabila nilai F_{hitung} lebih kecil daripada F_{tabel} . Dengan menerapkan tahap biodelignifikasi sebagai perlakuan pendahuluan pada bahan baku, maka diharapkan konsentrasi larutan pemasak yang diperlukan cukup rendah tetapi dapat menghasilkan pulp untuk kertas koran dengan sifat fisik dan kimia yang baik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENELITIAN PENDAHULUAN

1. Analisa Bahan Baku

Hasil analisa komponen kimia tandan kosong kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan komponen kimia tandan kosong kelapa sawit

| Komposisi Kimia | Persentase Komponen Kimia (% bk) |
|---------------------|----------------------------------|
| Holoseulosa (%) | 64,04 |
| - Selulosa alfa (%) | 34,28 |
| - Pentosan (%) | 26,72 |
| Lignin (%) | 25,89 |
| Kadar sari (%) | 3,74 |
| Kadar Abu (%) | 7,48 |
| Kadar silikat (%) | 1,60 |
| Kelarutan dalam : | |
| 1 % NaOH (%) | 27,38 |
| Air dingin | 10,67 |
| Air panas | 13,27 |

Dengan membandingkan hasil analisa komponen kimia tandan kosong kelapa sawit pada Tabel 3 dengan Kelas Komponen Kimia Kayu (Lampiran 4), ternyata tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang rendah, kadar pentosan yang tinggi dan kadar lignin serta kadar sari yang sedang. Kondisi tersebut menunjukkan kemungkinan rendahnya rendemen pulp yang dihasilkan serta kebutuhan larutan pemasak yang cukup tinggi. Kadar kelarutan tandan kosong kelapa sawit dalam air panas, air dingin dan satu persen natrium hidroksida menunjukkan nilai yang tinggi. Menurut Triyanto *et al.* (1982), kadar kelarutan

yang tinggi dalam air dingin, air panas dan satu persen natrium hidroksida (lebih dari 10 persen) merupakan indikasi bahwa kebutuhan bahan kimia cukup tinggi sedangkan rendemen pulp yang dihasilkan cenderung rendah.

Analisa dimensi serat dan nilai turunannya berguna untuk memperkirakan sifat fisik pulp yang akan dihasilkan. Hasil analisa dimensi serat tandan kosong kelapa sawit serta nilai turunannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai dimensi serat dan parameter turunannya

| Parameter | Hasil Pengukuran |
|----------------------------|------------------|
| Panjang serat , L (mm) | |
| - minimum | 0,27 |
| - maksimum | 1,60 |
| - rata-rata | 0,77 |
| Diameter (um) | |
| - luar , D | 12,66 |
| - lumen, l | 6,52 |
| - tebal dinding, w | 3,07 |
| Bilangan runkel, $2w/l$ | 0,94 |
| Daya tenun, L/D | 60,82 |
| Fleksibilitas, l/D | 0,52 |
| Koefisien kekakuan, w/D | 0,24 |
| <i>Muhlsteph ratio</i> , % | 73,48 |

Berdasarkan persyaratan dan nilai mutu serat kayu sebagai bahan baku pulp (Lampiran 5), tandan kosong kelapa sawit yang dipergunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini termasuk dalam Kelas Mutu Tiga (kisaran nilai 250). Menurut Nurachman dan Siagian (1976), bahan baku dalam kelas mutu tersebut memiliki dinding serat yang tipis sampai sedang serta lumen agak lebar, serat mudah menggepeng, memiliki ikatan serat dan daya tenun yang baik serta dapat menghasilkan pulp dengan kekuatan sobek, retak dan tarik yang sedang.

Serat tandan kosong kelapa sawit termasuk dalam serat pendek (kurang dari 0,9 mm) sehingga kekuatan sobek lembaran pulp yang dihasilkan diperkirakan agak rendah. Walaupun demikian, karena Bilangan Runkel bernilai kurang dari satu maka mutu pulp yang dihasilkan diperkirakan cukup baik. Bahan berserat dengan Bilangan Runkel lebih kecil dari satu termasuk dalam Golongan I dengan dinding sel yang tipis serta menghasilkan pulp dengan kualitas yang sangat baik (Purba, 1989). Menurut Casey (1980), dinding serat yang tipis menyebabkan serat mudah terfibrilasi dengan baik apabila diberi perlakuan mekanis, sehingga lembaran pulp yang dihasilkan diperkirakan akan memiliki kekuatan yang baik, terutama kekuatan tarik dan lipat, serta memiliki permukaan lembaran yang halus dan padat.

Secara umum, berdasarkan analisa komponen kimia, pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku pulp akan membutuhkan larutan pemasak yang cukup tinggi serta menghasilkan rendemen pulp yang rendah. Walaupun demikian, berdasarkan analisa dimensi serat dan nilai turunannya, tandan kosong kelapa sawit dapat menghasilkan pulp dengan mutu yang baik sehingga cukup potensial untuk dipergunakan sebagai bahan baku pulp.

2. Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi

Jamur pelapuk putih merupakan salah satu kelompok mikroorganisme yang mampu menguraikan lignin, walaupun demikian beberapa jamur pelapuk putih juga dapat menghilangkan polisakarida dalam jumlah besar (Blanchette dan Burnes, 1988). Dengan demikian, perlu dilakukan seleksi untuk menentukan jamur pelapuk putih dengan kemampuan yang optimal. Dalam proses *biopulping*, diharapkan mikroorganisme yang dipergunakan, seperti jamur pelapuk putih dapat menguraikan lignin sebanyak mungkin tetapi menguraikan selulosa seminimal mungkin (Kirk dan Chang, 1990).

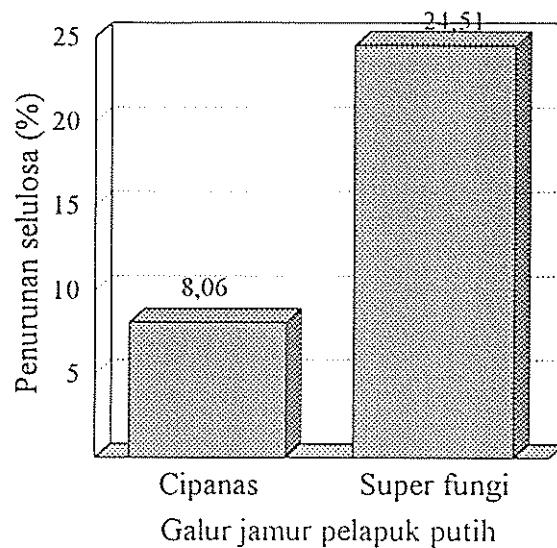
Hasil penentuan isolat jamur pelapuk putih dan media propagasi dengan mengamati kemampuan pertumbuhan serta persentase penurunan kadar lignin dan

selulosa menunjukkan bahwa enam jenis galur pelapuk putih yang dipergunakan (*Phanaerochaete chrysosporium*, *Coriolus versicolor*, galur *Rami putih*, *KTJ02*, *Super fungi* dan *Cipanas*) dapat tumbuh dengan baik pada media propagasinya, tetapi hanya jamur pelapuk putih *Super fungi* dan *Cipanas* yang dapat tumbuh dengan baik serta menguraikan lignin pada tandan kosong kelapa sawit. Kemungkinan penyebab jamur pelapuk putih *Phanaerochaete chrysosporium*, *Coreolus versicolor*, *Rami putih* dan *KTJ02* tidak dapat tumbuh pada tandan kosong kelapa sawit antara lain adalah karena tingginya kandungan polifenol dalam tandan kosong kelapa sawit. Menurut Prasetya dan Zadrazil (1995), biodegradasi jamur pelapuk putih *Phanaerochaete chrysosporium* sangat dipengaruhi oleh kandungan polifenol dalam bahan, sedangkan tanaman di negara tropis memiliki kandungan polifenol yang cukup tinggi sehingga jamur pelapuk putih yang telah dikenal di negara-negara nontropis, belum tentu sesuai untuk diterapkan di negara tropis.

Hasil analisa kadar selulosa dan lignin tandan kosong kelapa sawit setelah waktu inkubasi 14 hari oleh jamur *Super fungi* dan *Cipanas* menggunakan media propagasi cair kaldu dekstrosa kentang dan media padat berupa campuran antara dedak dan tandan kosong kelapa sawit serta dedak dengan serbuk gergaji menunjukkan persentase penurunan kadar selulosa sebesar 4,63 - 30,71 persen. Persentase penurunan lignin berkisar antara 13,16 - 23,68 persen (Lampiran 6).

Berdasarkan Analisa Sidik Ragam (Lampiran 7), ternyata media propagasi dan jenis isolat berpengaruh sangat nyata terhadap persentase penurunan selulosa. Interaksi antara media propagasi dan jenis isolat tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap persentase penurunan kadar selulosa.

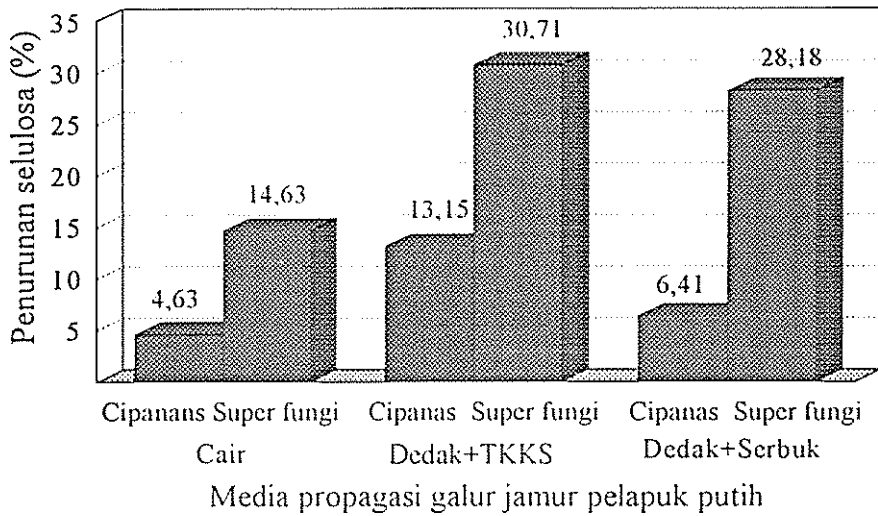
Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 8) menunjukkan bahwa persentase penurunan selulosa oleh jamur pelapuk putih *Cipanas* (rata-rata 8,06 persen) berbeda nyata dengan persentase penurunan selulosa oleh jamur pelapuk putih *Super fungi* (rata-rata 24,51 persen). Kondisi ini digambarkan dengan grafik batang pada Gambar 6.



Gambar 6. Histogram persentase penurunan selulosa oleh galur jamur pelapuk putih *Cipanas* dan *Super fungi*.

Perbedaan persentase penurunan selulosa kedua isolat jamur pelapuk putih tersebut dapat disebabkan karena aktifitas enzim yang berbeda. Menurut Fengel dan Wegener (1984), kemampuan jamur pelapuk putih untuk menguraikan lignin dan polisakarida berbeda-beda karena setiap jenis jamur pelapuk putih memiliki aktifitas dan karakteristik enzim yang berbeda-beda.

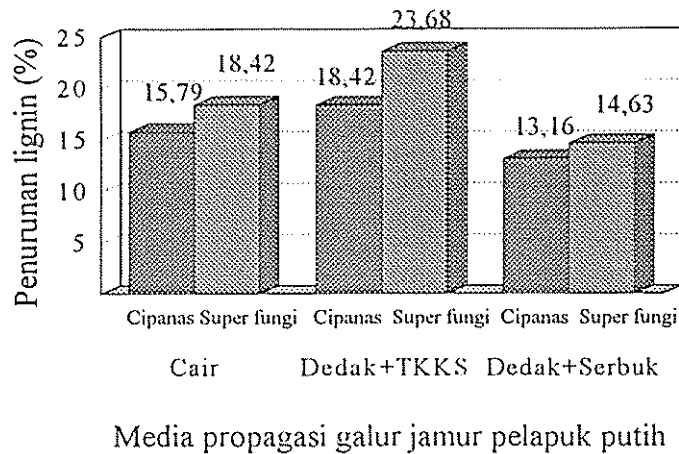
Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 8) terhadap media propagasi menunjukkan bahwa persentase penurunan selulosa dengan media propagasi campuran dedak dan serbuk yang menyebabkan persentase penurunan selulosa tertinggi (21,93 persen) tidak berbeda nyata dengan persentase penurunan selulosa dengan media campuran dedak dan tandan kosong kelapa sawit (rata-rata 17,30 persen). Walaupun demikian persentase penurunan selulosa dengan media propagasi kedua media padat tersebut berbeda nyata dengan media propagasi cair kaldu dekstrosa kentang yang menyebabkan persentase penurunan selulosa terendah (9,63 persen). Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Histogram hubungan antara persentase penurunan selulosa dengan media propagasi galur jamur pelapuk putih

Dari hasil Analisa Sidik Ragam persentase penurunan lignin (Lampiran 7) diketahui bahwa media propagasi berpengaruh nyata terhadap persentase penurunan lignin. Jenis isolat dan interaksi antara jenis isolat dan media propagasi tidak berpengaruh nyata terhadap persentase penurunan kadar lignin.

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 8) menunjukkan bahwa persentase penurunan lignin dengan media propagasi dedak dan tandan kosong kelapa sawit (rata-rata 13,90 persen) berbeda nyata dengan media propagasi dedak dan serbuk gergaji (rata-rata 21,05 persen), tetapi kedua media padat tersebut tidak berbeda nyata dengan media cair kaldu dekstrosa kentang (rata-rata 17,11). Hubungan antara media propagasi dengan persentase penurunan lignin disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan antara persentase penurunan lignin dengan media propagasi galur jamur pelapuk putih

Persentase penurunan selulosa atau lignin tandan kosong kelapa sawit dengan media propagasi yang berbeda dapat memberikan hasil yang berbeda-beda. Kondisi ini disebabkan karena komponen yang terdapat pada media propagasi berbeda-beda. Media propagasi dengan jumlah nutrisi dan lingkungan yang sesuai menyebabkan jamur pelapuk putih dapat tumbuh dengan lebih baik dan lebih cepat. Pada media dengan komponen kimia dan jumlah nutrisi yang berbeda maka pertumbuhan jamur pelapuk putih akan berbeda pula (Fengel dan Wegener, 1984).

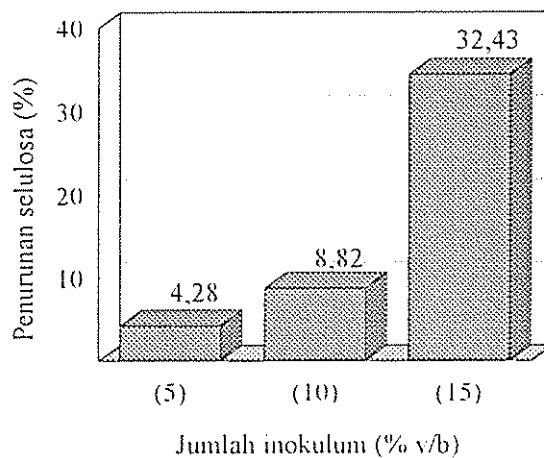
Berdasarkan hasil yang diperoleh maka jamur pelapuk putih yang sesuai untuk digunakan sebagai perlakuan pendahuluan dalam proses pembuatan pulp dari tandan kosong kelapa sawit adalah jamur pelapuk putih *Cipanas* dengan media propagasi cair kaldu dekstroza kentang.

3. Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase penurunan selulosa tandan kosong kelapa sawit oleh jamur pelapuk putih *Cipanas* dengan jumlah inokulum 5, 10 dan 15 persen berkisar antara 4,28 - 32,43 persen (Lampiran 9). Persentase

penurunan lignin dengan kondisi yang sama berkisar antara 14,79 - 34,01 persen (Lampiran 9). Berdasarkan Analisa Sidik Ragam (Lampiran10), ternyata jumlah inokulum berpengaruh sangat nyata terhadap persentase penurunan selulosa dan berpengaruh nyata terhadap persentase penurunan lignin.

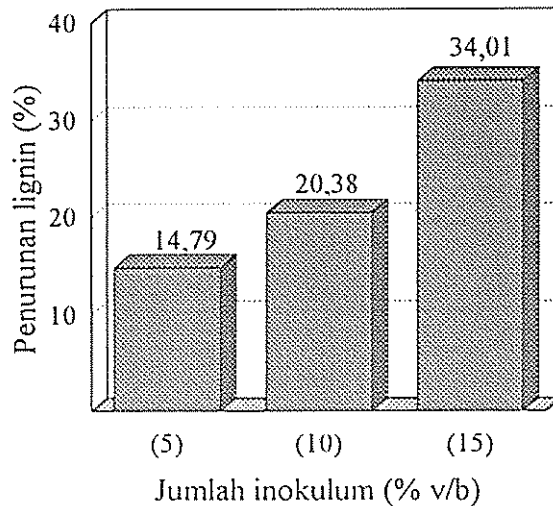
Dari Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 11) dapat diketahui bahwa pengaruh jumlah inokulum 5, 10 dan 15 persen masing-masing berbeda nyata satu dengan yang lainnya. Pada jumlah inokulum 5 persen terjadi penurunan selulosa sebesar 4,28 persen, sedangkan pada jumlah inokulum 10 dan 15 persen secara berurutan menyebabkan penurunan selulosa sebesar 8,82 persen dan 32,43 persen. Hubungan antara persentase penurunan selulosa dengan jumlah inokulum dapat disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Histogram hubungan antara persentase penurunan selulosa dengan jumlah inokulum galur *Cipanas*

Hasil Uji Jarak Duncan terhadap persentase penurunan lignin (Lampiran 11) menunjukkan bahwa persentase penurunan lignin dengan jumlah inokulum 5 persen (14,79 persen) dan 10 persen (20,38 persen) tidak berbeda nyata. Walaupun demikian, jumlah inokulum 5 dan 10 persen berbeda nyata dengan jumlah inokulum 15 persen. Penggunaan jumlah inokulum 15 persen terjadi

persentase penurunan lignin sebesar 34,01 persen. Hubungan antara jumlah inokulum dengan persentase penurunan lignin dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Histogram hubungan antara persentase penurunan lignin dengan jumlah inokulum galur *Cipanas*

Walaupun pada jumlah inokulum 15 persen penurunan lignin yang dicapai lebih besar dibandingkan dengan jumlah inokulum 5 dan 10 persen, tetapi pada jumlah inokulum 15 persen juga terjadi degradasi selulosa yang besar (mencapai 32,43 persen) sehingga dikhawatirkan bila digunakan dalam pembuatan pulp maka jumlah rendemen pulp akan rendah. Pada jumlah inokulum 5 dan 10 persen tidak terjadi penurunan lignin yang berbeda tetapi karena pada jumlah inokulum 5 dan 10 persen terjadi penurunan selulosa yang berbeda maka jumlah inokulum yang dipilih untuk dipergunakan sebagai perlakuan pendahuluan dalam pembuatan pulp adalah 5 persen. Jumlah inokulum tersebut diharapkan efektif untuk menguraikan lignin tanpa degradasi selulosa dalam jumlah besar.

B. PENELITIAN UTAMA

1. Rendemen

Rendemen pulp yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit hasil biodelignifikasi dengan proses kimia mekanis soda antrakinon berkisar antara 46,51 sampai dengan 61,57 persen (Lampiran 12). Hasil yang diperoleh lebih rendah bila dibandingkan dengan rendemen pulp kimia mekanis dengan bahan baku kayu yang berkisar antara 60 sampai 70 persen, karena tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kayu. Walaupun demikian, rendemen pulp yang diperoleh dari proses *biopulping* masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan rendemen pulp dari tandan kosong kelapa sawit yang diolah dengan proses kimia soda antrakinon. Pada proses kimia soda antrakinon, rendemen pulp tandan kosong kelapa sawit berkisar antara 31,70 - 34,67 persen (Pratiwi *et al.*, 1988). Nilai rata-rata rendemen pulp disajikan pada Tabel 5.

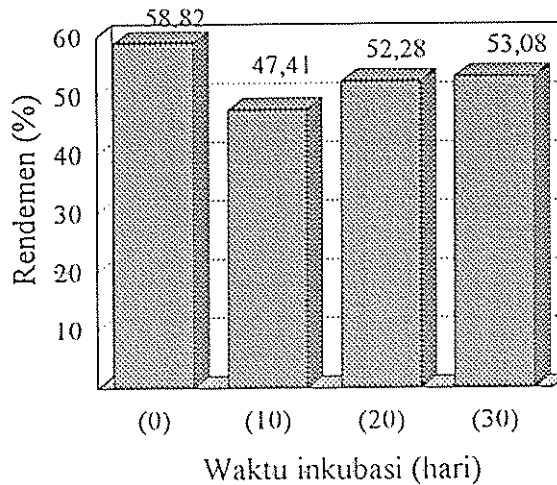
Tabel 5. Nilai persentase rendemen pulp pada berbagai konsentrasi NaOH dan waktu inkubasi

| Waktu Inkubasi (hari) | Konsentrasi NaOH (%) | | | Rata-rata Perlakuan |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|---------------------|
| | 4 | 6 | 8 | |
| 0 | 61,57 | 58,14 | 56,77 | 58,82 |
| 10 | 48,07 | 46,51 | 47,66 | 47,41 |
| 20 | 55,44 | 50,69 | 50,73 | 52,28 |
| 30 | 53,39 | 52,22 | 51,95 | 53,08 |
| Rata-rata perlakuan | 54,61 | 52,14 | 51,95 | 52,90 |

Hasil Analisa Sidik Ragam rendemen pulp (Lampiran 13) menunjukkan bahwa waktu inkubasi tandan kosong kelapa sawit setelah diinokulasikan jamur

pelapuk putih galur *Cipanas* pada perlakuan pendahuluan berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen pulp yang dihasilkan. Konsentrasi larutan pemasak natrium hidroksida dan interaksinya dengan waktu inkubasi tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen pulp yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil Uji Jarak Berganda Duncan untuk rendemen (Lampiran 14), waktu inkubasi 0 hari dengan rendemen rata-rata 58,82 persen berbeda nyata dengan waktu inkubasi 10, 20 dan 30 hari. Waktu inkubasi 10 hari (rendemen rata-rata 47,41 persen) berbeda nyata dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari. Sedangkan waktu inkubasi 20 hari (rendemen rata-rata 52,28 persen) tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 30 hari (53,08 persen). Hubungan antara waktu inkubasi dengan rendemen pulp disajikan dalam Histogram pada Gambar 11.



Gambar 11. Histogram hubungan antara rendemen pulp dengan waktu inkubasi

Pada penelitian ini, waktu inkubasi yang semakin lama menghasilkan rendemen pulp yang lebih besar. Walaupun demikian, rendemen pulp dari tandan kosong kelapa sawit yang telah diinkubasi masih lebih rendah daripada rendemen

pulp tanpa inkubasi (waktu inkubasi 0 hari). Hal ini disebabkan karena sebagian selulosa tandan kosong kelapa sawit telah terdegradasi oleh jamur pelapuk putih.

Peningkatan jumlah rendemen pulp dengan bertambahnya waktu inkubasi dapat disebabkan karena pada tahap awal inkubasi, degradasi lignin dan selulosa masih seimbang, tetapi dengan bertambahnya waktu inkubasi degradasi lignin terjadi lebih besar bila dibandingkan dengan degradasi selulosa. Degradasi lignin yang lebih besar dibandingkan dengan degradasi selulosa menyebabkan kadar lignin menjadi lebih rendah sehingga serat yang diperoleh menjadi lebih banyak dan rendemen menjadi lebih tinggi. Walaupun demikian, semakin lama waktu inkubasi maka serat selulosa juga akan mengalami kerusakan. Menurut Prasetya dan Zadrazil (1995), waktu inkubasi lebih dari 30 hari dapat menyebabkan degradasi selulosa yang tinggi. Degradasi selulosa yang tinggi dapat menyebabkan rendemen dan kekuatan pulp yang dihasilkan menjadi rendah.

2. Konsumsi Alkali

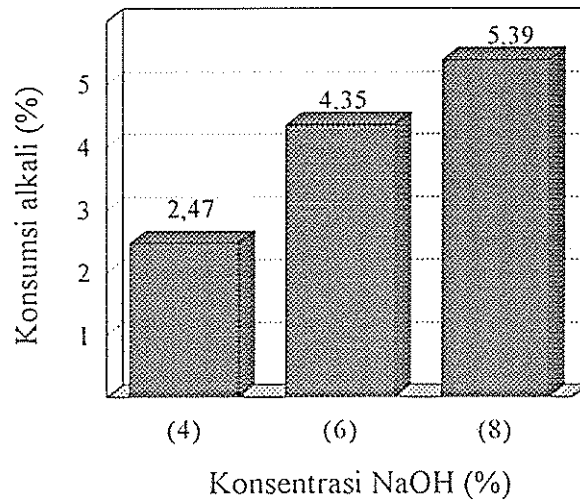
Konsumsi alkali menunjukkan persentase larutan alkali yang bereaksi selama perlakuan kimia. Konsumsi alkali pada proses *biopulping* dengan larutan pemasak soda antrakinon berkisar antara 1,83 - 5,89 (Lampiran 12) persen. Nilai rata-rata konsumsi alkali dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai rata-rata konsumsi alkali (%) pulp pada berbagai konsentrasi NaOH dan waktu inkubasi

| Waktu Inkubasi (hari) | Konsentrasi NaOH (%) | | | Rata-rata Perlakuan |
|-----------------------|----------------------|------|------|---------------------|
| | 4 | 6 | 8 | |
| 0 | 2,19 | 4,42 | 5,20 | 3,93 |
| 10 | 1,83 | 3,74 | 4,83 | 3,46 |
| 20 | 3,02 | 4,85 | 5,89 | 4,59 |
| 30 | 2,84 | 4,42 | 5,66 | 4,31 |
| Rata-rata perlakuan | 2,47 | 4,35 | 5,39 | 4,07 |

Hasil Analisa Sidik Ragam terhadap konsumsi alkali (Lampiran 13) menunjukkan bahwa konsentrasi natrium hidroksida berpengaruh sangat nyata dan waktu inkubasi berpengaruh nyata. Sedangkan interaksi antara waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida tidak memberikan pengaruh yang nyata.

Selanjutnya, berdasarkan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) ternyata konsentrasi natrium hidroksida 4, 6 dan 8 persen berbeda nyata antara satu dengan yang lainnya. Nilai rata-rata konsumsi alkali dengan perlakuan konsentrasi natrium hidroksida 4, 6, dan 8 persen secara berturut-turut adalah 2,47, 4,35 dan 5,39 persen. Hubungan antara konsentrasi natrium hidroksida dengan konsumsi alkali disajikan pada Gambar 12.

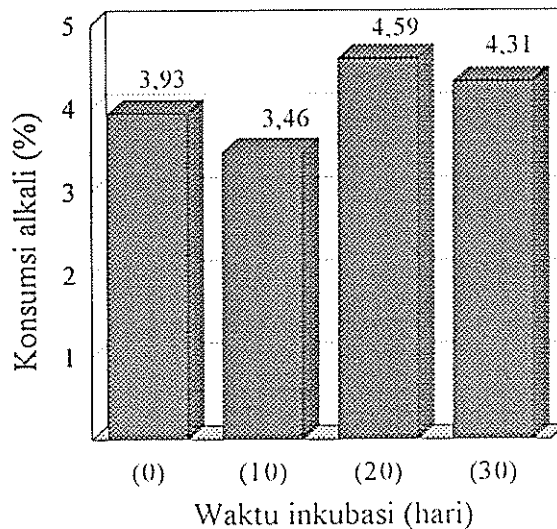


Gambar 12. Histogram hubungan konsumsi alkali pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida

Meningkatnya konsumsi alkali dengan pertambahan konsentrasi natrium hidroksida dapat disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi natrium hidroksida maka semakin banyak larutan alkali yang tersedia dan bereaksi selama proses pemasakan.

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan tentang hubungan antara waktu inkubasi dengan konsumsi alkali (Lampiran 14) menunjukkan bahwa waktu inkubasi 0 hari

tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 10, 20 dan 30 hari. Waktu inkubasi 10 hari berbeda nyata dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari, sedangkan waktu inkubasi 20 hari tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 30 hari. Hubungan antara konsumsi alkali dengan waktu inkubasi disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Histogram hubungan konsumsi alkali pulp dengan waktu inkubasi

Berdasarkan Gambar 13, terlihat bahwa secara umum semakin lama waktu inkubasi konsumsi alkali semakin meningkat. Peningkatan tersebut dapat disebabkan karena semakin lama waktu inkubasi maka lignin semakin banyak berkurang sehingga larutan pemasak mudah bereaksi dengan serat. Menurut Casey (1980), konsumsi alkali dipengaruhi oleh kadar selulosa dan lignin pada serat. Pada awal waktu inkubasi konsumsi alkali rendah dibandingkan dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari karena lignin pada tandan kosong kelapa sawit masih tinggi sehingga larutan pemasak lebih banyak bereaksi dengan lignin dibandingkan dengan selulosa. Pada waktu inkubasi 0, konsumsi alkali lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi alkali dengan waktu inkubasi 10 hari. Hal ini disebabkan karena pada waktu inkubasi 0, kandungan selulosa pada tandan kosong kelapa sawit lebih tinggi sehingga lebih banyak serat yang bereaksi dengan larutan pemasak .

Kandungan serat yang lebih tinggi ditunjukkan oleh rendemen pulp dengan waktu inkubasi 0 hari lebih tinggi dibandingkan dengan waktu inkubasi 10 hari (Tabel 5). Pada waktu inkubasi 20 dan 30 hari, konsumsi alkali lebih tinggi dibandingkan dengan waktu inkubasi 0 hari karena jumlah lignin pada tandan kosong kelapa sawit lebih rendah sehingga larutan pemasak lebih banyak bereaksi dengan serat. Kandungan lignin yang lebih rendah pada waktu inkubasi 20 dan 30 hari dibandingkan dengan waktu inkubasi 0 dan 10 hari ditunjukkan oleh bilangan kappa yang semakin rendah (Tabel 7).

Semakin banyak jumlah alkali yang dikonsumsi menunjukkan bahwa pemasakan semakin matang. Walaupun demikian, konsumsi alkali yang terlalu tinggi dapat menyebabkan serat menjadi terlalu lunak sehingga serat mudah menjadi rusak dan terputus pada saat perlakuan mekanis. Kerusakan serat dapat menyebabkan menurunnya kekuatan lembaran pulp yang dihasilkan.

3. Bilangan Kappa

Bilangan Kappa merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk memperkirakan lignin yang masih terdapat pada pulp hasil pemasakan. Bilangan Kappa yang tinggi menunjukkan bahwa pulp masih memiliki kandungan lignin yang tinggi sehingga dapat menghasilkan lembaran pulp dengan warna dan sifat fisik yang kurang baik (Casey, 1980). Menurut Hendarsjah (1993), tingginya kadar lignin sisa dalam pulp dapat meningkatkan kegetasan serat sehingga pada saat penggilingan dapat terjadi pematahan serat sehingga mengurangi kekuatan pulp yang dihasilkan.

Analisa Bilangan Kappa pulp tandan kosong kelapa sawit dengan proses *biopulping* menunjukkan nilai rata-rata yang berkisar antara 46,13 sampai dengan 47,84 (Lampiran 12). Ikhtisar nilai rata-rata bilangan kappa disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai rata-rata Bilangan Kappa pulp dengan berbagai waktu inkubasi dan konsentrasi NaOH

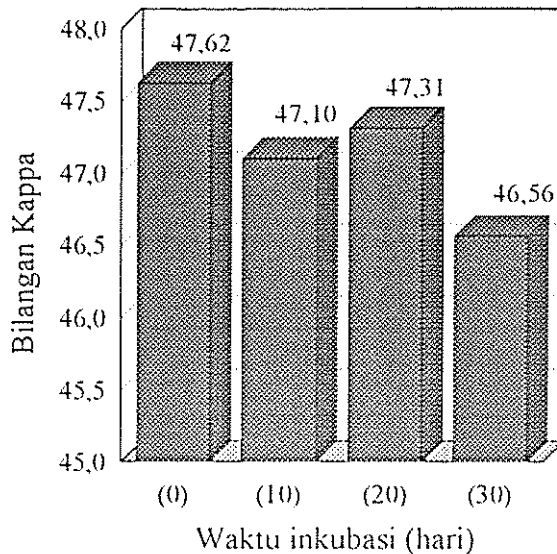
| Waktu inkubasi (hari) | Konsentrasi NaOH (%) | | | Rata-rata perlakuan |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|---------------------|
| | 4 | 6 | 8 | |
| 0 | 47,81 | 47,84 | 47,21 | 47,62 |
| 10 | 47,35 | 47,82 | 46,13 | 47,10 |
| 20 | 47,64 | 47,56 | 46,73 | 47,31 |
| 30 | 46,49 | 46,80 | 46,39 | 46,56 |
| Rata-rata perlakuan | 47,32 | 47,50 | 46,61 | 47,15 |

Hasil Analisa Sidik Ragam (Lampiran 13) menunjukkan bahwa waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida berpengaruh sangat nyata terhadap nilai Bilangan Kappa. Interaksi antara waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai Bilangan Kappa.

Berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14), waktu inkubasi 0 dan 20 hari menghasilkan pulp dengan Bilangan Kappa yang tidak berbeda nyata, demikian pula antara waktu inkubasi 10 dan 20 hari. Waktu inkubasi 0 dan 10 hari menghasilkan nilai Bilangan Kappa yang berbeda nyata, sedangkan waktu inkubasi 30 hari menghasilkan Bilangan Kappa yang berbeda nyata dengan waktu inkubasi 0, 10, dan 20 hari. Bilangan Kappa dengan waktu inkubasi 30 hari memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai bilangan kappa dengan perlakuan waktu inkubasi 0, 10 dan 20 hari.

Rendahnya nilai Bilangan Kappa dengan waktu inkubasi 30 hari dapat disebabkan karena semakin lama waktu inkubasi maka semakin banyak lignin yang terdegradasi oleh jamur pelapuk putih. Penurunan kadar lignin dapat menyebabkan konsumsi alkali meningkat karena semakin banyak serat yang bereaksi dengan larutan pemasak yang digunakan, walaupun demikian rendemen pulp dapat meningkat karena penurunan lignin secara relatif menyebabkan meningkatnya

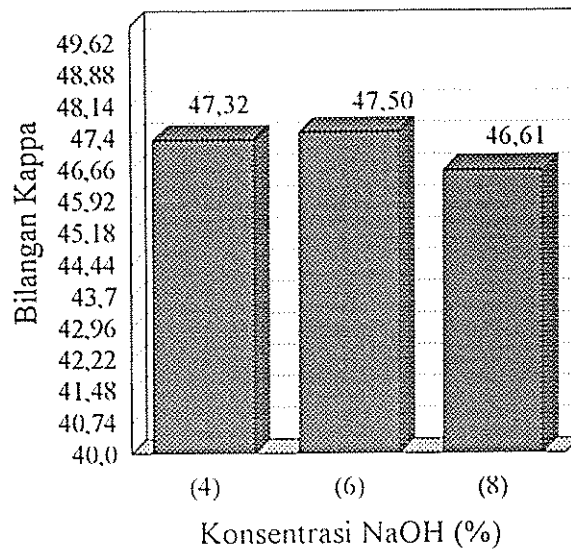
kandungan serat pada bahan. Histogram hubungan antara Bilangan Kappa pulp dengan waktu inkubasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Histogram hubungan antara Bilangan Kappa pulp dengan waktu inkubasi

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) tentang pengaruh konsentrasi natrium hidroksida terhadap nilai Bilangan Kappa menunjukkan bahwa konsentrasi natrium hidroksida 4 dan 6 persen memberikan hasil yang tidak berbeda nyata. Konsentrasi natrium hidroksida 4 dan 6 persen memberikan hasil Bilangan Kappa yang berbeda nyata dengan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen, dimana nilai Bilangan Kappa pada konsentrasi 4 dan 6 persen lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen. Histogram hubungan antara Bilangan Kappa dengan konsentrasi natrium hidroksida disajikan pada Gambar 15.





Gambar 15. Histogram hubungan Bilangan Kappa pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida

Menurunnya Bilangan Kappa pada pemakaian konsentrasi natrium hidroksida yang lebih tinggi dapat disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi larutan pemasak maka semakin banyak bahan kimia yang bereaksi dengan lignin. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi larutan pemasak alkali maka aktifitas antrakinson sebagai katalis dalam mendegradasi lignin semakin meningkat (Fullerton, 1979). Pada penelitian ini, Bilangan Kappa dengan pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 6 persen lebih tinggi bila dibandingkan dengan pemakaian natrium hidroksida 4 persen karena jumlah larutan pemasak yang bereaksi dengan serat lebih banyak sedangkan laju delignifikasi masih rendah akibat konsentrasi larutan pemasak yang masih termasuk rendah. Hal ini ditunjukkan oleh konsumsi alkali yang lebih tinggi pada pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 6 persen (Gambar 12). Pada pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 8 persen, nilai konsumsi alkali pulp lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 4 dan 6 persen, tetapi nilai Bilangan Kappanya rendah. Kondisi ini dapat disebabkan karena konsentrasi natrium hidroksida lebih tinggi sehingga aktifitas antrakinson sebagai katalis delignifikasi semakin meningkat.

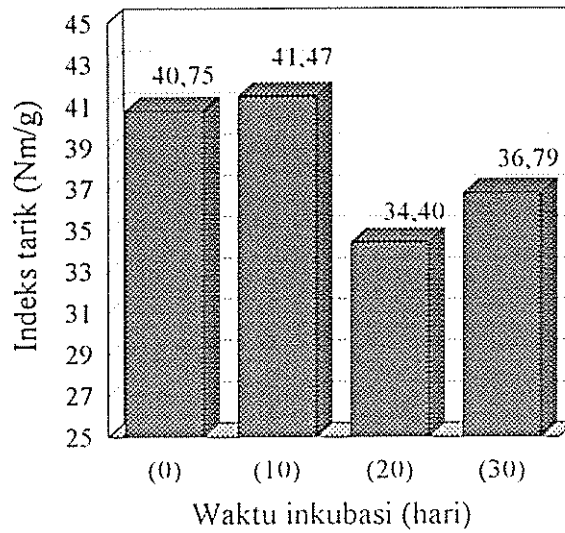
4. Indeks Tarik

Ketahanan tarik adalah daya tahan lembaran kertas atau karton terhadap gaya tarik yang bekerja pada kedua ujung kertas atau karton tersebut pada kondisi standar. Ketahanan tarik dapat dinyatakan sebagai indeks tarik, yaitu besarnya nilai ketahanan tarik dibagi dengan gramturnya (SII.0436-81, 1981).

Niali rata-rata indeks tarik pulp tandan kosong kelapa sawit berkisar antara 32,42 - 45,26 Nm/g (Lampiran 12). Nilai indeks tarik pulp untuk kertas koran pada penelitian ini memenuhi nilai indeks tarik pada spesifikasi kertas koran Indonesia, yaitu SII.0389-80 (Lampiran 1). Nilai indeks tarik pulp tandan kosong kelapa sawit dengan proses *biopulping* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai indeks tarik pulp tandan kosong kelapa sawit dengan proses kimia soda antrakinson. Pada proses kimia soda antrakinson, nilai indeks tarik berkisar antara 30,28 - 32,23 Nm/g (Pratiwi *et al*, 1988).

Berdasarkan Analisa Sidik Ragam (Lampiran 13) ternyata waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida berpengaruh nyata terhadap indeks tarik, sedangkan interaksi antara keduanya tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai indeks tarik lembaran pulp.

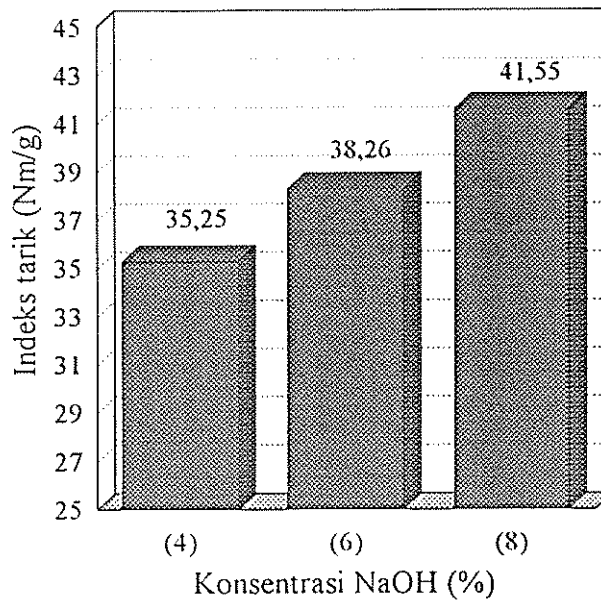
Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) menunjukkan bahwa waktu inkubasi 0, 10 dan 30 hari menghasilkan nilai indeks tarik lembaran pulp yang tidak berbeda nyata. Waktu inkubasi 20 hari dengan nilai indeks tarik rata-rata 34,40 Nm/g berbeda nyata dengan waktu inkubasi 0 dan 10 hari tetapi tidak berbeda nyata dnegan waktu inkubasi 30 hari. Gambar 16 memperlihatkan hubungan antara nilai indeks tarik lembaran pulp dengan waktu inkubasi.



Gambar 16. Histogram hubungan antara indeks tarik lembaran pulp dengan waktu inkubasi

Dari Gambar 16 terlihat bahwa penambahan waktu inkubasi cenderung mengurangi nilai indeks tarik. Hal ini dapat disebabkan karena serat-serat selulosa telah terdegradasi oleh jamur pelapuk putih sehingga dinding sel serat mengalami kerusakan. Menurut Hidayat dan Tjiptosoedirdjo (1992), nilai indeks tarik sangat dipengaruhi oleh dinding sel serat bahan baku. Dinding sel yang tipis akan memudahkan perlakuan mekanis sehingga serat dapat terpisahkan dengan baik dan dapat membentuk jalinan antar serat yang lebih kuat.

Hasil Uji jarak Berganda Duncan untuk indeks tarik lembaran pulp (Lampiran 14) menunjukkan bahwa penggunaan larutan pemasak natrium hidroksida sebanyak 4 persen tidak berbeda nyata dengan pemakaian larutan natrium hidroksida 6 persen, tetapi berbeda nyata dengan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen. Nilai indeks tarik dengan konsentrasi natrium hidroksida 6 persen tidak berbeda nyata dengan nilai indeks tarik dengan pemakaian natrium hidroksida 8 persen. Hubungan antara nilai indeks tarik dengan konsentrasi natrium hidroksida dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Histogram hubungan antara indeks tarik lembaran pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida

Peningkatan konsentrasi natrium hidroksida cenderung meningkatkan nilai indeks tarik karena antrakinon sebagai katalis bekerja lebih efektif dan melindungi serat selulosa. Menurut Samuelson dan Lowendahl (1978), penambahan antrakinon tidak hanya meningkatkan reaksi penguraian lignin tetapi juga melindungi serat selulosa sehingga tidak banyak yang terdegradasi.

5. Indeks Sobek

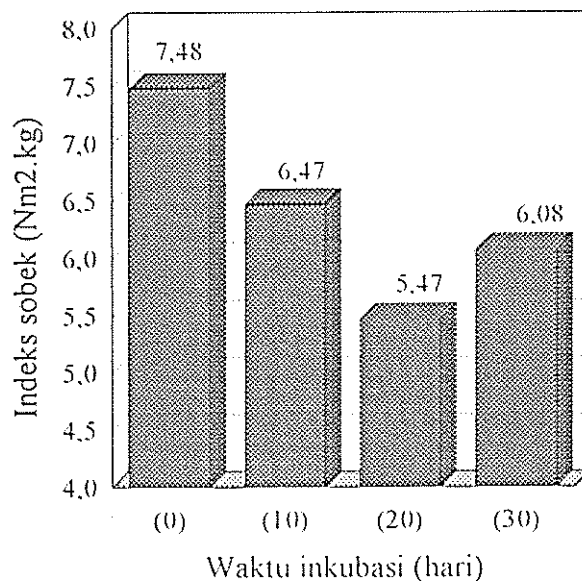
Ketahanan sobek adalah gaya dalam gram gaya (gf) atau milinewton (mN) yang diperlukan untuk menyobek kertas pada kondisi standar. Ketahanan sobek dapat dinyatakan sebagai indeks sobek dengan membagi nilai ketahanan sobek dengan gramatur kertas dalam gram per meter persegi (SII.0435081, 1981).

Nilai indeks sobek lembaran pulp tandan kosong kelapa sawit berkisar antara 5,27 - 8,60 Nm²/kg (Lampiran 12). Nilai indeks sobek tersebut lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai indeks sobek pada spesifikasi kertas koran

(Lampiran 1), tetapi kisaran nilainya hampir sama dengan kisaran nilai pulp tandan kosong kelapa sawit dengan proses kimia soda antrakinon (6,34 - 7,05 Nm²/kg) yang menggunakan natrium hidroksida dengan konsentrasi sebesar 16, 17 dan 18 persen (Pratiwi *et al.*, 1988).

Berdasarkan Analisa Sidik Ragam (Lampiran 13), konsentrasi natrium hidroksida memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai indeks sobek, sedangkan waktu inkubasi memberikan pengaruh yang sangat nyata. Interaksi antara waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai indeks sobek.

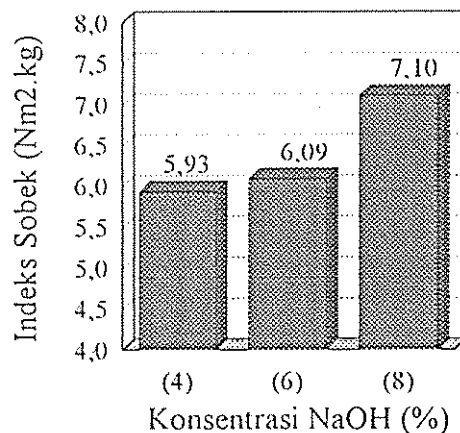
Hasil Uji Jarak Berganda Duncan untuk nilai indeks sobek (Lampiran 14) menunjukkan bahwa waktu inkubasi 0 dan 10 hari tidak berbeda nyata, tetapi waktu inkubasi 0 hari memberikan nilai indeks tarik yang berbeda nyata dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari. Waktu inkubasi 10, 20 dan 30 hari tidak memberikan nilai indeks tarik yang berbeda nyata. Hubungan antara indeks sobek dengan waktu inkubasi disajikan pada Gambar 18.



Gambar 18. Histogram hubungan nilai indeks sobek lembaran pulp dengan waktu inkubasi.

Pulp dari tandan kosong kelapa sawit yang telah mengalami penghilangan lignin secara biologis memiliki nilai indeks sobek yang lebih kecil dibandingkan dengan pulp dari tandan kosong kelapa sawit yang tidak mengalami perlakuan biodelignifikasi. Penurunan nilai indeks sobek tersebut dapat disebabkan karena pada tahap biodelignifikasi, jamur pelapuk putih tidak hanya menyerang lignin tetapi juga selulosa sehingga serat menjadi rusak dan mudah patah pada tahap perlakuan mekanis. Selain itu, konsumsi alkali yang tinggi pada tahap pemasakan pulp menyebabkan serat menjadi lunak sehingga perlakuan mekanis yang diterapkan dapat merusak serat yang telah terdegradasi oleh jamur pelapuk putih galur *Cipanas* sehingga menurunkan kekuatan serat. Nilai indeks sobek tertinggi diperoleh dengan perlakuan tanpa inkubasi (waktu inkubasi 0 hari) karena serat tandan kosong kelapa sawit tidak terdegradasi oleh jamur pelapuk putih, sehingga walaupun konsumsi alkali pada waktu inkubasi 0 lebih tinggi daripada perlakuan dengan waktu inkubasi 10 hari, nilai indeks sobeknya masih lebih tinggi.

Berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan, nilai indeks sobek dengan konsentrasi natrium hidroksida 4 dan 6 persen berbeda nyata dengan nilai indeks sobek dengan konsentrasi 8 persen. Nilai indeks sobek tertinggi diperoleh dengan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen. Hubungan antara indeks sobek dengan konsentrasi natrium hidroksida dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Histogram hubungan nilai indeks sobek lembaran pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida.

Nilai indeks sobek semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi natrium hidroksida yang dipergunakan. Hal ini dapat disebabkan karena semakin banyak konsentrasi natrium hidroksida yang dipergunakan maka semakin banyak lignin yang terdegradasi sehingga serat menjadi lunak dan mudah terfibrilasi pada saat perlakuan mekanis sehingga jalinan antar serat menjadi semakin kuat. Semakin banyaknya lignin yang terdegradasi dengan bertambahnya konsentrasi larutan pemasak natrium hidroksida ditunjukkan dengan menurunnya nilai Bilangan Kappa serta meningkatnya konsumsi alkali pulp.

6. Opasitas Cetak

Opasitas cetak adalah perbandingan antara faktor pantul pencahayaan dengan faktor pantul pencahayaan intrinsik, dinyatakan dalam persen dan diukur pada kondisi standar. Faktor pantul pencahayaan adalah faktor pantul dari selembar kertas dengan alas dasar hitam. Faktor pantul pencahayaan intrinsik adalah faktor pantul pencahayaan dari setumpuk kertas dengan ketebalan yang cukup sehingga tidak tembus cahaya (SII.0531-81, 1981). Opasitas menunjukkan banyaknya cahaya yang dapat dilewati oleh lembaran kertas. Kertas dengan opasitas yang tinggi tidak dapat ditembus cahaya (Casey, 1980). Menurut Sabur (1988), kertas koran memerlukan opasitas cetak yang tinggi karena dicetak pada kedua sisinya.

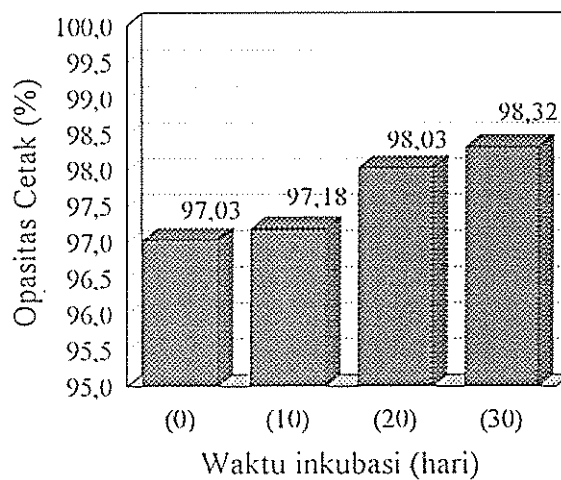
Hasil pengujian opasitas cetak lembaran pulp tandan kosong kelapa sawit dengan proses *biopulping* menunjukkan bahwa nilai opasitas cetak pulp memenuhi syarat nilai opasitas pada spesifikasi kertas koran. Nilai rata-rata opasitas lembaran pulp yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 96,00 - 98,70 persen (Lampiran 12).

Berdasarkan hasil Analisa Sidik Ragam nilai opasitas cetak (Lampiran 13), diketahui bahwa konsentrasi larutan natrium hidroksida dan waktu inkubasi berpengaruh sangat nyata terhadap nilai opasitas cetak. Interaksi antara waktu

inkubasi dengan konsentrasi natrium hidroksida tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap opasitas cetak lembaran pulp.

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) menunjukkan bahwa waktu inkubasi 0 dan 10 hari menghasilkan nilai opasitas cetak yang tidak berbeda nyata, sedangkan nilai opasitas cetak dengan waktu inkubasi 20 hari tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 30 hari. Waktu inkubasi 0 dan 10 hari menghasilkan nilai opasitas cetak yang berbeda nyata dengan waktu inkubasi 20 dan 30 hari.

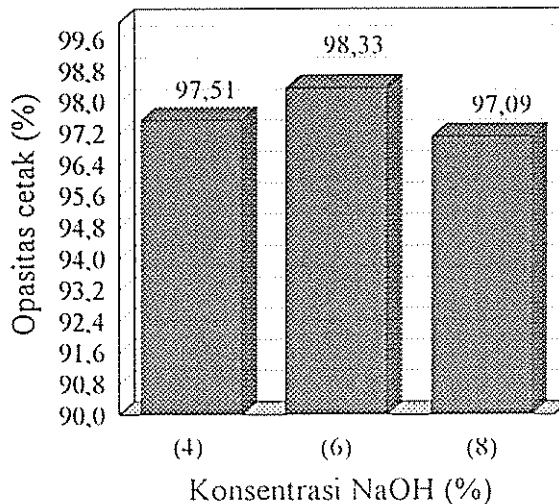
Nilai opasitas cetak dengan waktu inkubasi 30 hari lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai opasitas cetak waktu inkubasi 0, 10, 20 dan 30 hari. Hubungan antara waktu inkubasi dengan opasitas cetak disajikan pada Gambar 20.



Gambar 20. Histogram hubungan opasitas cetak lembaran pulp dengan waktu inkubasi

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) tentang hubungan antara opasitas cetak pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida menunjukkan bahwa pemakaian natrium hidroksida dengan konsentrasi 4 persen tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 8 persen, tetapi pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 4 persen dan 8 persen berbeda nyata dengan pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 6 persen. Tingginya opasitas cetak lembaran pulp untuk kertas koran

dari tandan kosong kelapa sawit dapat disebabkan karena tandan kosong kelapa sawit memiliki dinding serat yang tipis sehingga perlakuan kimia mekanis menyebabkan lembaran pulp mejadi halus dan padat. Hubungan antara opasitas cetak dengan konsentrasi natrium hidroksida dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Histogram hubungan opasitas cetak lembaran pulp dengan natrium hidroksida

7. Derajat Putih

Derajat putih merupakan perbandingan antara intensitas cahaya biru dengan panjang gelombang 457 nm yang dipantulkan oleh permukaan kertas atau karton dengan cahaya sejenis yang dipantulkan oleh permukaan lapisan magnesium oksida, pada kondisi sudut datang cahaya 45° dan sudut pantul 0° (SII.0437-81, 1981).

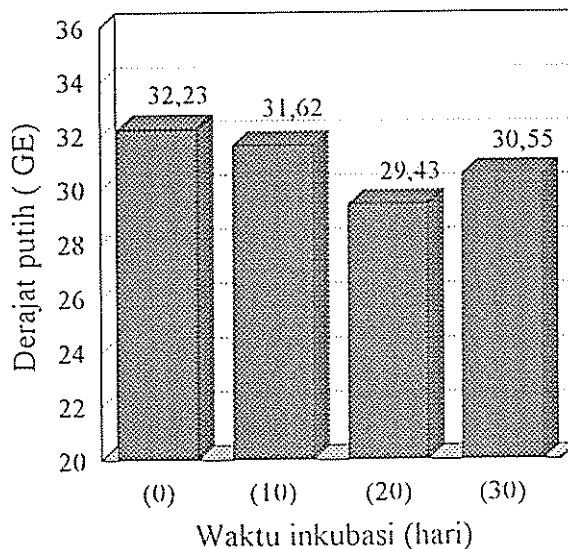
Nilai derajat putih lembaran pulp yang dihasilkan dengan proses *biopulping* serta pemutihan dengan menggunakan peroksida dan klordioksida berkisar antara $29,00 - 34,30^\circ\text{GE}$ (Lampiran 12). Nilai derajat putih yang diperoleh dengan perlakuan yang diterapkan dalam penelitian ini belum memenuhi spesifikasi derajat putih untuk kertas koran (Lampiran 1). Hal ini dapat disebabkan karena

kandungan lignin pada pulp masih cukup tinggi yang ditunjukkan oleh bilangan kappa yang masih tinggi, sedangkan kondisi pemutihan yang diterapkan hanya dapat memucatkan warna lignin tanpa menghilangkan sisa lignin yang masih terdapat dalam pulp.

Hasil Analisa Sidik Ragam (Lampiran 13) menunjukkan bahwa konsentrasi natrium hidroksida dan waktu inkubasi berpengaruh sangat nyata terhadap nilai derajat putih yang dihasilkan. Interaksi antara waktu inkubasi dan konsentrasi natrium hidroksida tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai derajat putih pulp.

Berdasarkan Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14), waktu inkubasi 20 hari tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 30 hari, waktu inkubasi 30 hari tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 10 hari, sedangkan waktu inkubasi 10 hari juga tidak berbeda nyata dengan waktu inkubasi 0 hari.

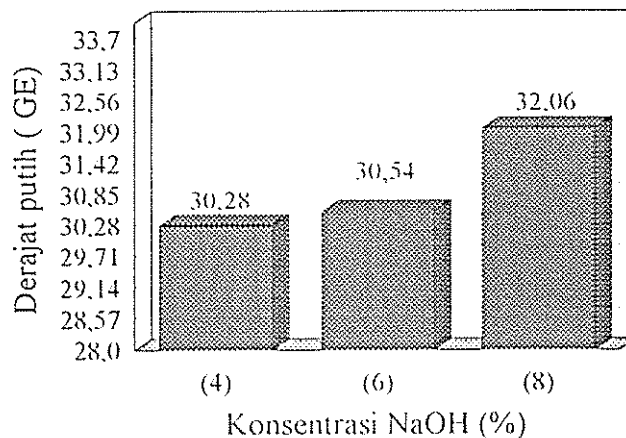
Hubungan antara derajat putih dengan waktu inkubasi disajikan pada Gambar 22.



Gambar 22. Histogram hubungan antara derajat putih pulp dengan waktu inkubasi

Berdasarkan Gambar 22, tampak bahwa bertambahnya waktu inkubasi dapat menyebabkan berkurangnya derajat putih pulp. Hal ini dapat disebabkan karena jamur pelapuk putih galur Cipanas yang dipergunakan pada tahap biodelignifikasi dapat mendegradasi lignin tetapi hanya sedikit menguraikan zat ekstraktif pada tandan kosong kelapa sawit. Dengan berkurangnya kadar lignin, zat ekstraktif menjadi dominan dalam mempengaruhi derajat putih lembaran pulp karena lebih sulit dihilangkan dengan proses pemutihan peroksida dan klordioksida yang hanya memucatkan warna lignin (Singh, 1991).

Hasil Uji Jarak Berganda Duncan (Lampiran 14) menunjukkan bahwa pemakaian konsentrasi natrium hidroksida 4 persen dan 6 persen tidak berbeda nyata tetapi berbeda nyata dengan pemakaian konsentrasi 8 persen. Nilai derajat putih tertinggi diperoleh dari pemakaian natrium hidroksida 8 persen. Hal ini dapat disebabkan karena dengan konsentrasi natrium hidroksida yang tinggi, komponen lignin yang menyebabkan timbulnya warna lebih banyak yang terdegradasi. Menurut Sabur (1988), derajat putih pulp untuk kertas koran tidak terlalu tinggi dan tidak perlu stabil. Hal ini disebabkan karena koran diperlukan dalam waktu yang singkat dan langsung dibuang. Hubungan antara derajat putih lembaran pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida disajikan pada Gambar 23.



Gambar 23. Histogram hubungan antara derajat putih lembaran pulp dengan konsentrasi natrium hidroksida

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa komponen kimia pulp, tandan kosong kelapa sawit termasuk Kelas Mutu Tiga. Proses pembuatan pulp dengan menggunakan bahan baku tandan kosong kelapa sawit diperkirakan memerlukan larutan kimia pemasak dalam jumlah besar dan menghasilkan rendemen yang rendah, tetapi berdasarkan analisa dimensi serat dan nilai turunannya, tandan kosong kelapa sawit cukup potensial untuk dijadikan bahan baku pulp.

Berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan, dapat diketahui bahwa dari galur yang diteliti ternyata jamur pelapuk putih yang terbaik untuk digunakan dalam tahap *biodelignifikasi* adalah galur *Cipanas*. Media propagasi yang terbaik untuk galur *Cipanas* tersebut adalah media cair kaldu dekstrosa kentang. Jumlah inokulum yang terbaik untuk diterapkan dalam tahap *biodelignifikasi* adalah 5 persen (v/b). Persentase penurunan selulosa dan lignin oleh galur *Cipanas* dengan media propagasi cair kaldu dekstrosa kentang dan jumlah inokulum 5 persen, secara berturut-turut adalah sebesar 4,28 persen dan 14,79 persen.

Hasil dari penelitian utama menunjukkan bahwa pulp tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan dengan proses *biopulping* dengan faktor perlakuan waktu inkubasi (0, 10, 20 dan 30 hari) dan konsentrasi natrium hidroksida (4, 6, dan 8 persen) memenuhi spesifikasi kertas koran kecuali spesifikasi derajat putih.

Hasil terbaik diperoleh dengan kombinasi perlakuan waktu inkubasi 30 hari dan konsentrasi natrium hidroksida 8 persen. Nilai rendemen dari perlakuan tersebut adalah 52,64 persen, Bilangan Kappa 46,613, konsumsi alkali 5,66 persen, indeks tarik 39,51 Nm/g, indeks sobek 6,739 Nm²/kg, opasitas cetak 98,25 persen dan derajat putih 31,05°Ge.

B. SARAN

Perlu dilakukan modifikasi proses pemutihan agar pulp dapat memenuhi spesifikasi derajat putih kertas koran. Disamping itu, perlu dilakukan pemisahan biji sawit sisa semaksimal mungkin agar mengurangi noda yang dapat terjadi pada lembaran pulp.



DAFTAR PUSTAKA

- Alexopoulos, C.J. 1977. Introduction Mycology. Second Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Alexopoulos, C. J. dan C. W. Mims. 1979. Introductory Mycology. Third Edition. John Wiley and Sons, New York.
- APKI. 1995. Data Produksi, Impor, Konsumsi dan Ekspor Indonesia untuk Semua Jenis Kertas. Di dalam Harian Umum Republika, 16 April 1995.
- Blanchette, R. A., T. A. Burnes. 1988. Selection of White Rot Fungi For Biopulping. Biomass 15 : 93 - 101. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, England.
- Casey, J. P. 1980. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. Third Edition. Vol. I. John Wiley and Sons, New York.
- Chang, S. T. dan T. H. Quimio (eds). 1982. Tropical Mushrooms : Biological Nature and Cultivation Methods. The Chinese University Press of Hongkong, Hongkong.
- Chang, S. T. dan W. A. Hayes (eds). 1978. The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms. Academic Press, New York.
- Cowling, E. B. 1975. Physical and Chemical Constrains in The Hydrolysis of Cellulose and Lignocellulosic Materials. Biotechnology, Bioengineering Symposium 5: 163 - 181.
- Darnoko. 1992. Potensi Pemanfaatan Limbah Lignoselulosa Kelapa Sawit Melalui Biokonversi. Berita Penelitian Perkebunan Medan. April 1992:Vol.2(2):85-97.
- Departemen Kehutanan. 1976. Vademecum Kehutanan Indonesia. Direktorat Jenderal Kehutanan, Departemen Kehutanan Republik Indonesia, Jakarta.
- Fengel, D. dan Wegener, G. 1989. Wood Chemistry Ultra Structure Reactions. Walter De Grueter, Berlin, New York.
- Fullerton, T. 1979. Anthraquinone Pulping. Forest Research Institute : What's New in Forest Research, No. 72. H. A. Holmes and Company Limited, Rotorua, New Zealand.
- Grace, T. M. dan E. W. Malcolm. 1983. Pulp and Paper Manufacture, Vol. 5 : Alkaline Pulping. Joint Text Book Committe of The Paper Industry, New York.
- Hartley, C. W. S. 1988. The Oil Palm . Longman Group Limited, London.
- Hendarsjah H. 1993. Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacquin) Sebagai Bahan Baku Pulp Untuk Kertas Medium. Skripsi. Jurusan Kimia, FMIPA, IPB, Bogor.

- Hidayat, T. dan S. Tjiptoedirdjo. 1992. Penggunaan Pulp *Albizia falcataria* Pada Pembuatan Kerta Koran. Berita Selulosa. Maret 1992. Vol. XXVIII, No.1:3-7.
- Kirk, T.K. dan H.M. Chang. 1990. Biotechnology in Pulp and Paper Manufacture. Butterworth-Heinemann, Amerika.
- Klush, L. R. K. 1976. Paper and Paper Converting Industries. Small Business Publications, New Delhi.
- Kollmann, F. F. P. 1968. Principle of Wood Science and Technology Solid Wood, Vol. I. Spring Everin, Berlin.
- Lavigne, J.R. 1991. Pulp and Paper Dictionary. Miller Freeman Publication, Inc., California.
- Lubis, A.U. 1992. Kelapa Sawit di Indonesia. Sugraf Offset, Sumatera Utara.
- Mc Donald, R. G. dan J. N. Franklin. 1969. Pulp and Paper Manufacture, Vol. I : The Pulping Wood. Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Nishida, T., Y. Kashino, A. Mimura dan Y. Takahara. 1988. Mokuza Gakkaishi. Vol. 34(6) : 530 - 536.
- Nurachman, A. dan R.M. Siagian. 1976. Dimensi Serat Jenis Kayu Indonesia. Di dalam Siagian, R. M. dan T. Silitonga. 1988. Percobaan Pembuatan Pulp Sulfat Dari Kayu Makadamia (*Macadamia hildebrandii* Van Steen). Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol. 5, No. 4: 192 - 195.
- Prasetya, B. dan F. Zadrazil. 1995. Pengaruh Kandungan Polifenol Terhadap Aktifitas Biodelignifikasi *Phanaerochaete chrysosporium* pada Bahan Lignoselulosa. Disampaikan dalam Seminar HKI, 11-13 Januari 1995.
- Pratiwi, W., A. Oskari dan S.P. Rahdi. 1988. Pembuatan Pulp Kertas dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Antrakinon. Menara Perkebunan 56(2): 49 - 52.
- Purba, K. 1989. Pengetahuan Dasar Kayu Sebagai Bahan Berserat : Dimensi Serat dan Nilai Turunannya. Disajikan dalam Alih Ilmu Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat. Bogor, Oktober 1989.
- Pusat Penelitian Perkebunan, Medan. 1992. Di dalam Darnoko. 1992. Potensi Pemanfaatan Limbah Lignoselulosa Kelapa Sawit Melalui Biokonversi. Berita Penelitian Perkebunan Medan. April 1992:Vol.2(2):85-97.
- Sabur. 1988. Pembuatan Kertas Koran dari Ampas Tebu dan Jerami. Berita Selulosa, Juni-September, 1988. Vol. XXIV, No.2-3:37-42.
- Sach, I. B., G. F. Leatham dan G. C. Myers. 1990. Distinguishing Characteristic of Biochemical Pulp. Jurnal TAPPI, September 1990 : 249 - 254.
- Samuelson, O. dan L. Lowendahl. 1978. Carbohydrates Stabilization During Soda Pulping with Addition of Anthraquinone. Jurnal TAPPI, Vol. 61(2).

- Siagian, R. M. 1989. Pengolahan Pulp Semi Kimia dan Kimia Mekanis. Disampaikan dalam Alih Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Industri Pulp Kertas dan Papan Serat. Bogor, Oktober 1989.
- SII.0389-80. 1980. Standar Industri Indonesia, Spesifikasi Kertas Koran. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0435-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Ketahanan Sobek Kertas dan Karton. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0436-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Ketahanan Tarik Kertas dan Karton. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0437-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Derajat Putih Kertas. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0443-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kadar Selulosa Alfa, Beta dan Gamma Dalam Kayu dan Pulp. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0528-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kadar Lignin Kayu dan Pulp (Metoda Klason). Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.0531-81. 1981. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Opasitas Cetak Kertas. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.1292-85. 1985. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kadar Abu, Silika dan Silikat dalam Kayu dan Pulp. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.1293-85. 1985. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kadar Sari (Ekstrak Alkohol-Benzena). Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.1657-85. 1985. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Holoselulosa dalam Kayu. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.1659-85. 1985. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kelarutan Kayu dan Pulp Dalam Air Dingin dan Air Panas. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.1879-86. 1986. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kelarutan Kayu dan Pulp dalam Natrium Hidroksida Satu Persen. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- SII.2105-87. 1987. Standar Industri Indonesia, Cara Uji Kadar Pentosan Dalam Kayu. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Singh, R. P. 1991. The Bleaching of Pulp. TAPPI Press, Atlanta.
- Singh, S. P. dan S. K. Roymoulik. 1992. Role of Biotechnology in The Pulp and Paper Industry : A Review, Part I : Biopulping. Jurnal IPPTA 4(4) : 53 - 56.
- Sudjana. 1991. Desain dan Analisis Eksperimen. Tarsito, Bandung.
- Triyanto, Hs., Muliah dan M. Eddi. 1982. Batang Abaka (*Musa Textilis Nee*) Sebagai Bahan Baku Kertas. Berita Selulosa, Juni 1982. Vol. XVIII, No.2: 27 - 32.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Kertas Koran*

| Uraian | Persyaratan |
|-----------------|-----------------------------------|
| Gramatur | 45 - 55 g/m ² |
| Ketahanan Tarik | minimum 1,18 KN/m (1,8 kgf/15 mm) |
| Indeks Tarik | minimum 23,60 Nm/g |
| Ketahanan Sobek | minimum 196,00 mN (20 gf) |
| Indeks Sobek | minimum 3,92 Nm ² /kg |
| Opasitas Cetak | minimum 89 % |
| Derajat putih | minimum 57 °GE |

*) SII.0658-82, 1982

Lampiran 2. Prosedur Analisa Komponen Kimia dan Dimensi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

1. Kadar Holoselulosa (SII.1657-85)

Contoh uji sebanyak 2 gram kering oven diekstraksi dengan alkohol-benzena 1:2, kemudian dicuci dengan air panas sampai bebas dari larutan alkohol benzena. Contoh uji kemudian dibasahi dengan air dingin dan diklorinasi selama 3 menit. Selanjutnya contoh uji diaduk dan diklorinasi kembali selama 2 menit. Contoh yang telah diklorinasi dicuci dengan alkohol 95 persen dan dibiarkan selama 1 menit sebelum larutan diisap dengan pompa vakum. Kemudian, contoh uji dibasahi dengan air dingin dan ditambahkan larutan monoetanolamin 3 persen serta diaduk dan didiamkan selama 2 menit. Setelah larutan dikeringkan, penambahan monoetanolamin diulangi sekali lagi. Residu yang diperoleh kemudian dicuci 2 kali dengan alkohol 95 persen dan 2 kali dengan air dingin. Perlakuan klorinasi dan ekstraksi dengan monoetanolamin diulangi sampai residu berwarna putih atau pucat. Kemudian, residu dicuci dengan alkohol 95 persen dan air dingin hingga netral. Selanjutnya residu dikeringkan dalam oven bersuhu $105 \pm 3^\circ$ hingga berat konstan.

Kadar holoselulosa dihitung sebagai berikut :

$$X = (B/A) \times 100 \%$$

dimana : X = kadar holoselulosa (persen)

B = berat contoh kering oven (gram)

A = berat residu (gram)

2. Analisa Kadar Selulosa Alfa (SII. 0443 - 81)

Contoh uji kering oven sebanyak 3,0 gram dimasukkan ke dalam gelas piala 250 ml dan diletakkan pada thermostat suhu $20,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Contoh uji dibasahkan dengan 15 ml larutan natrium hidroksida 17,5 persen dan dimaserasi dengan batang pengaduk selama 1 menit. Selanjutnya, ditambahkan 10 ml natrium hidroksida 17,5 persen dan diaduk selama 45 detik. Penambahan ini dilakukan sebanyak dua kali. Campuran dibiarkan dalam thermostat selama tiga menit dan selanjutnya ditambahkan dengan natrium hidroksida 17,5 persen serta diaduk selama 10 menit. Kemudian dilakukan penambahan natrium hidroksida sebanyak 3 x 10 ml setelah 2,5; 5 dan 7,5 menit. Selanjutnya, reaksi dibiarkan berlangsung dalam thermostat selama 30 menit dalam keadaan tertutup dan kemudian larutan ditambahkan 100 ml air suling (suhu 20°C) dan dibiarkan selama 30 menit.

Campuran tersebut selanjutnya dituang ke dalam cawan masir yang telah diketahui beratnya dan dilengkapi dengan labu isap, kemudian diisap dengan pompa vakum. Gelas piala dibersihkan

dengan 25 ml natrium hidroksida 8,3 persen pada suhu 20°C. Endapan yang diperoleh dicuci dengan 5 x 50 ml air suling (20°C).

Selanjutnya, cawan masir dipindahkan ke labu isap yang lain dan endapan dicuci dengan 400 ml air suling serta ditambahkan asam asetat 2 N pada suhu 20°C sambil diaduk selama 5 menit. Kemudian, endapan dicuci kembali dengan air suling sampai bebas asam dan dikeringkan dalam oven dengan suhu $105 \pm 3^\circ\text{C}$ dan selanjutnya ditimbang hingga berat tetap.

Kadar selulosa α dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{selulosa } \alpha = \frac{\text{berat endapan}}{\text{berat pulp kering oven}} \times 100\%$$

3. Analisa Kadar Lignin (SII. 0528 - 83)

Contoh bahan ditimbang sebanyak $1 \pm 0,1$ gram kemudian diekstraksi dengan etanol benzena (1:2) selama 8 jam. Setelah diekstraksi, contoh dicuci dengan etanol dan air panas dan dikeringkan dalam oven bersuhu 105°C. Contoh yang telah kering dipindahkan ke dalam gelas piala 100 ml dan ditambahkan asam sulfat 72 persen sebanyak 15 ml. Penambahan dilakukan secara perlahan-lahan dalam bak perendam bersuhu 20°C sambil diaduk selama 2 - 3 menit. Selanjutnya, contoh dimasukkan dalam erlenmeyer yang sudah berisi air sebanyak 300 - 400 ml, kemudian diencerkan dengan air sampai volume 575 ml sehingga konsentrasi asam sulfat 3 persen. Larutan tersebut kemudian dipanaskan sampai mendidih dan dibiarkan selama 4 jam dengan api kecil.

Selanjutnya, larutan tersebut dibiarkan hingga lignin mengendap sempurna. Kemudian larutan didekantasikan dan endapan lignin dicuci sampai bebas asam dengan air panas serta disaring dengan kertas saring yang telah diketahui beratnya. Kertas saring beserta endapan lignin tersebut selanjutnya dikeringkan pada oven bersuhu $105 \pm 3^\circ\text{C}$ sampai berat konstan.

Kadar lignin dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{kadar lignin (persen)} = \frac{A}{B} \times 100\%$$

dimana : A = berat endapan lignin (gram)

B = berat contoh kering tanur.

4. Cara Uji Kadar Abu (SII.1292-85)

Cawan porselen dipanaskan dalam tanur listrik selama 30 menit pada suhu $575 \pm 25^\circ\text{C}$, kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang. Selanjutnya, contoh uji dimasukkan dalam cawan masir dan ditimbang. Kemudian contoh uji tersebut dimasukkan dalam tanur bersuhu $575 \pm 25^\circ\text{C}$ sekurang-kurangnya selama 3 jam. Selanjutnya, cawan masir dan sisa pembakaran ditimbang sampai berat konstan.

Perhitungan kadar abu adalah sebagai berikut :

$$X = \frac{a - b}{c} \times 100$$

dimana : X = kadar abu (persen)

a = berat cawan + sisa pembakaran (gram)

b = berat cawan kosong (gram)

c = berat contoh uji kering tanur

5. Kadar Silikat (SII.1292-85)

Abu yang diperoleh dari sisa pembakaran pada pengujian kadar abu ditambahkan dengan 5 ml asam klorida 6 M dan diuapkan diatas penangas sampai kering. Selanjutnya, 5 ml asam klorida 6 M ditambahkan kembali dan diencerkan dengan 20 ml air suling serta dipanaskan. Residu disaring dengan kertas saring bebas abu secara kuantitatif dan dicuci beberapa kali dengan air suling panas. Kemudian kertas saring yang berisi residu diletakkan dalam cawan masir yang telah diketahui beratnya dan dikeringkan dalam oven 105°C sampai bebas air. Selanjutnya, cawan dan isinya dimasukkan dalam tanur listrik bersuhu $575 \pm 25^\circ\text{C}$ sekurang-kurangnya selama 3 jam dan ditimbang hingga berat konstan.

Perhitungan kadar silikat adalah sebagai berikut :

$$Y = (1000 d)/e$$

dimana : Y = kadar silikat (ppm)

d = berat silikat (mg)

e = berat contoh uji kering tanur (mg)

6. Kelarutan dalam air dingin (SII.1659-85)

Kelarutan dalam air dingin menyatakan banyaknya komponen kayu yang larut dalam air dingin, meliputi garam-garam anorganik, garam-garam organik, gula, gum, bahan-bahan menyerupai pektin, galaktan, tanin dan pigmen.

Contoh uji sebanyak 2 gram kering oven ditambahkan 300 ml air suling dalam gelas piala 400 ml dan ditutup dengan kaca arloji serta dibiarkan selama 48 jam pada suhu $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sambil diaduk sewaktu-waktu. Kemudian, contoh uji dipindahkan ke dalam corong masir 17 G2 yang telah diketahui beratnya serta dicuci dengan air suling dingin hingga filtrat menjadi jernih. Kelebihan air diisap dengan pompa vakum. Residu yang diperoleh dikeringkan dalam oven bersuhu $105 \pm 3^\circ\text{C}$ sekurang-kurangnya selama 4 jam dan ditimbang hingga diperoleh berat konstan.

Kelarutan dalam air dingin dihitung dengan cara berikut :

$$X = \frac{A - B}{A} \times 100$$

dimana : X = kelarutan dalam air dingin (persen)

A = contoh uji kering tanur awal (gram)

B = contoh uji kering tanur setelah diekstrak (gram)

7. Kelarutan dalam air panas (SII.1659-85)

Kelarutan dalam air panas menyatakan banyaknya komponen kayu yang larut dalam air panas, meliputi garam-garam organik dan anorganik, gula, gum, pektin, galaktan, tanin, pigmen, polisakarida dan komponen lain yang terhidrolisa.

Contoh uji sebanyak 2 gram kering oven dimasukkan dalam labu erlenmeyer 200 ml dan ditambahkan 100 ml air suling. Contoh tersebut dipanaskan dalam penangas air selama 3 jam dengan menggunakan pendingin balik. Selanjutnya, contoh uji dipindahkan ke dalam corong masir 17 G2 yang telah diketahui beratnya dan dicuci hingga filtrat menjadi jernih, sedangkan air yang berlebih diisap dengan pompa vakum. Contoh uji kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $105 \pm 3^\circ\text{C}$ sekurang-kurangnya selama 4 jam dan ditimbang hingga diperoleh berat konstan.

Kelarutan dalam air panas dihitung sebagai berikut :

$$X = \frac{A - B}{A} \times 100$$

dimana : X = kelarutan dalam air panas (persen)

A = contoh uji kering tanur awal (gram)

B = contoh uji kering tanur setelah diekstraksi (gram)

8. Kadar Pentosan (SII.2105-87)

Contoh uji sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam labu distilasi serta ditambahkan 100 ml asam klorida 3,85 N dan beberapa butir batu didih. Setelah batas permukaan diberi tanda, labu dipasang pada alat distilasi. Kecepatan distilasi diatur sehingga diperoleh kira-kira 25 ml distilat persepuluh menit. Distilat ditampung melalui corong yang dilengkapi kertas saring ke dalam gelas ukur 500 ml. Volume larutan dalam labu distilasi dipertahankan dengan mengatur penambahan asam klorida pada corong pisah. Distilasi dihentikan setelah diperoleh distilat sebanyak 270 ml. Selanjutnya, distilat dituangkan secara kuantitatif ke dalam gelas piala yang telah berisi 40 ml larutan floroglusinol dan tambahkan asam klorida 3,85 N hingga volume mencapai 400 ml. Setelah diaduk, larutan didiamkan selama 16 jam. Kemudian, larutan disaring dengan menggunakan cawan Gooch dengan kertas saring dan asbes sebagai media penyaring dan endapan dicuci dengan 150 ml air suling. Cawan Gooch dan endapan kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam. Setelah didinginkan, cawan Gooch yang berisi endapan diletakkan dalam gelas piala 100 ml serta ditambahkan 20 ml etanol 95% dan diletakkan dalam penangas air bersuhu 60°C selama 10 menit. Selanjutnya, cawan Gooch dikeluarkan dan dilakukan penghisapan untuk menghilangkan etanol. Penambahan etanol diulangi hingga larutan etanol yang dihisap tidak berwarna. Kemudian, cawan Gooch yang berisi endapan dikeringkan pada oven bersuhu $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam hingga diperoleh berat konstan.

Kadar pentosan dihitung sebagai berikut :

$$X = \frac{(a + 0,0052)f}{b} \times 100$$

Dimana : X = kadar pentosan (%)

a = berat endapan kering tanur (gram)

b = berat contoh uji kering tanur (gram)

0,0052 = faktor koreksi kelarutan floroglusinol

f = faktor koreksi = 0,8949 bila $a < 0,03$ gram

0,8866 bila $0,03 < a < 0,3$ gram

0,8824 bila $a > 0,3$ gram

9. Kadar Sari (SII.1293-85)

Contoh kering udara sebanyak $1 \pm 0,1$ gram ditimbang dalam cawan masir 1 G2 kemudian ditutup dengan kertas saring yang dilubangi kecil dan telah bebas sari serta diikat dengan benang yang telah bebas sari. Selanjutnya, contoh diekstrak selama 6 jam dalam sokhlet dengan larutan alkohol-benzena 1:2. Kemudian, alkohol-benzena pada labu ekstrak diuapkan sampai hampir kering dan sisa penguapan dalam labu ekstrak dipanaskan dalam oven pada suhu $105^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ selama 3 jam atau lebih hingga diperoleh berat tetap.

Kadar sari dihitung dengan cara berikut :

$$\text{Kadar sari} = (a/b) \times 100\%$$

Dimana : a = berat sari dalam labu ekstrak (gram)

b = berat contoh kering tanur (gram).

10. Penetapan Panjang Serat (SII.1183-86)

Contoh kayu diambil dari bagian bawah, atas dan tengah, lalu dibuat sayatan sebesar korek api sebanyak satu gram, dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditambahkan 5,0 ml campuran hidrogen peroksida dan asam asetat (1:1). Selanjutnya, gelas piala ditutup dengan gelas arloji dan dipanaskan selama 1 - 3 jam sampai contoh berwarna putih. Cairan jernih dibuang sedangkan serat dicuci dengan air hingga bebas asam dan dibuat suspensi serat 1,0 persen. Suspensi tersebut dipipet dan diteteskan pada gelas obyektif, ditambahkan pewarna safranin dan ditutup dengan gelas penutup. Air yang berlebih dihisap dengan kertas saring. Selanjutnya, preparat diamati dibawah mikroskop. Panjang serat dihitung sebanyak 200 helai serat.

Nilai panjang serat disajikan dalam nilai antara, yaitu nilai minimum, maksimum dan rata-rata.

$$L = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} \cdot c$$

Dimana : L = panjang serat rata-rata (mm)

x_i = nilai panjang serat pengamatan ke-i (mm)

f_i = frekuensi nilai panjang serat pada pengamatan ke-i

c = nilai faktor hasil kalibrasi

Panjang minimum = nilai serat terpendek x c

Panjang maksimum = nilai serat terpanjang x c

11. Penetapan Dimensi Serat (Forest Product Laboratory Madison, 1976)

Contoh kayu direndam dalam etanol 70 persen selama 2 jam, kemudian dibuat sayatan penampang melintang yang tipis setebal $\pm 20 \mu\text{m}$. Sayatan diletakkan diatas kaca obuek dan ditetesi safranin serta ditutup dengan gelas penutup. Contoh dilihat dengan mikroskop dan bayangannya dipantulkan melalui *drawing attachment* (DA) ke atas kertas. Penampang serat digambar, kemudian diukur dengan mistar. Tiap penampang serat diukur pada dua jurusan. Skala mistar ditera terhadap mikrometer obyektif.

Perhitungan dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$d = \frac{\Sigma f_1}{2n} .c$$

$$d = \frac{\Sigma f_2}{2n} .c$$

$$W = \frac{d - l}{2}$$

Dimana : d = diameter serat (μm)

l = diameter lumen (μm)

x_1 = diameter serat yang terukur

x_2 = diameter lumen yang terukur

n = jumlah pengukuran

f = frekuensi

c = faktor pembesaran

W = tebal dinding serat

Nilai turunan dimensi serat dihitung berdasarkan nilai rata-rata panjang, diameter, tebal dinding dan diameter lumen. Rumus besaran turunan dimensi serat adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan runkel = $2w/l$

2. Daya tenun = L/d

3. Perbandingan muhlsteph = $(d^2 - l^2)/d^2$

4. Perbandingan kelenturan = l/d

5. Koefisien kekakuan = w/d

Lampiran 3. Prosedur Analisa Sifat kimia dan Sifat Fisik Pulp

1. Rendemen Pulp

Pulp hasil pemasakan yang telah diturunkan kadar airnya ditimbang (A gram), kemudian diambil sebanyak B gram dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C sehingga diperoleh bobot yang konstan (C gram). Apabila D gram merupakan bobot serpih kering oven, maka rumus rendemen adalah sebagai berikut :

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{(A/B) \times C}{D} \times 100 \%$$

2. Konsumsi Alkali

Analisa konsumsi alkali dilakukan terhadap cairan sisa pemasakan dan pencucian bahan baku setelah dimasak. Sebanyak 25 ml cairan sisa pemasakan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 ml. Setelah ditambahkan 25 ml BaCl₂ 10 persen, larutan diencerkan hingga mencapai volume 500 ml dan diendapkan selama 3 jam. Larutan yang telah diendapkan dipipet sebanyak 25 ml dan dititrasi dengan HCl 0.1 N dan indikator phenoftalein. Titrasi dihentikan setelah terjadi perubahan warna dari warna merah hingga kembali ke warna larutan semula.

Konsumsi alkali dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

$$S_1 = \frac{500}{25 \times 25} \times V_1 \times V_2 \times N_{\text{HCl}} \times 40 \quad S_2 = \% \text{ NaOH} \times B$$

$$\text{Konsumsi alkali} = \frac{S_2 - S_1}{B} \times 100 \%$$

Dimana : V₁ = volume larutan hasil pencucian (L)

V₂ = volume HCl yang digunakan untuk titrasi (ml)

S₁ = alkali sisa

S₂ = alkali asal

B = berat serpih kering oven (g)

3. Bilangan Kappa (SII.0530 - 81)

Bilangan kappa menunjukkan jumlah ml KMnO_4 0,1 N yang terpakai oleh 1 gram pulp kering oven pada kondisi standar. Bilangan kappa dapat digunakan untuk menentukan tingkat kematangan atau derajat delignifikasi pulp.

Pulp kering tanur seberat 3 - 4 gram dimasukkan ke dalam gelas piala 1000 ml, kemudian ditambahkan dengan 500 ml air suling dan diuraikan dengan pengaduk listrik sampai serat terurai. Contoh yang telah terurai dipindahkan ke dalam gelas piala 2000 ml dan dibilas dengan air suling secukupnya sampai volume 795 ml. Suhu air suling harus $25,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Selama reaksi berlangsung, gelas piala diletakkan dalam penaugas air bersuhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$ sambil terus diaduk. Selanjutnya 100 ml H_2SO_4 dan 100 ml KMnO_4 ditambahkan ke dalam gelas piala yang telah berisi contoh pulp dan kemudian dibilas dengan air suling dengan jumlah tidak lebih dari 5 ml. Setelah 10 menit, reaksi dihentikan dengan menambahkan larutan KI 16,6 persen sebanyak 20 ml, kemudian dititrasi dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,2 N dengan larutan kanji sebagai indikator. Blanko dibuat dengan cara yang sama tanpa menggunakan pulp.

Bilangan kappa dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$k = \frac{p \times f}{w} \qquad p = \frac{(b-a) N}{0.2}$$

$$f = \log(p/w) + 0.00093(p-50)$$

Keterangan : k = bilangan kappa

a = jumlah ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N untuk titrasi contoh

b = jumlah ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N untuk titrasi blanko

N = normalitas larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

f = faktor koreksi pada pemakaian 50 persen KMnO_4

p = ml larutan KMnO_4 yang terpakai oleh contoh.

w = berat pulp kering oven

4. Ketahanan Sobek (SII.0435 - 81)

Ketahanan sobek adalah gaya yang diperlukan untuk menyobek selembar pulp yang dinyatakan dalam gram daya (gf) atau milinewton (mN) dan diukur pada kondisi standar.

Contoh uji dengan panjang 76 ± 2 mm dan lebar $63,00 \pm 0,15$ mm dipasang diantara kedua penjepit *tearing tester* pada kondisi vertikal searah dengan lebar contoh uji. Penyobekan awal

dengan menggunakan pisau yang tersedia pada arah tersebut selebar 20 mm sehingga lebar contoh yang belum tersobek 43,0 mm. Selanjutnya, penahan bandul ditekan hingga bandul berayun bebas serta menyobek contoh uji. Bandul terhenti setelah contoh uji putus dan nilai ketahanan sobek dapat dibaca pada skala alat pengujian.

$$\text{Ketahanan sobek} = \frac{16 \times A}{B}$$

Keterangan : A = pembacaan skala rata-rata (gf)

B = jumlah lebar contoh uji yang dipergunakan saat pengujian.

Hasil yang diperoleh dapat dinyatakan dalam satuan internasional dengan konversi sebagai berikut :

$$1 \text{ gf} = 9,807 \text{ mN}$$

$$\text{Indeks sobek} = \frac{\text{ketahanan sobek}}{\text{gramatur}}$$

5. Ketahanan Tarik (SII.0436 - 81)

Ketahanan tarik adalah daya tahan lembaran pulp terhadap gaya tarik yang bekerja pada kedua ujungnya dan diukur pada kondisi standar.

Contoh uji lembaran pulp dengan ukuran panjang 200 mm dan lebar 15 mm dijepit kedua ujungnya dengan jarak 100 mm pada *tensile tester* yang dimulai dengan ujung atas. Pemasangan harus merata dan tidak melintir. Pengunci batang penjepit dilepaskan sehingga lembaran pulp teregang bebas. Selanjutnya, bandul diayunkan dengan menjalankan motor hingga ayunan terhenti bersamaan dengan putusya lembaran uji. Nilai ketahanan tarik dapat langsung dibaca pada alat. Ketahanan tarik dinyatakan dalam kilogram gaya atau kilonewton per meter (1 kgf per 15 mm = 0,6538 KN/m).

$$\text{Indeks tarik} = \frac{\text{ketahanan tarik}}{\text{gramatur}}$$

6. Derajat Putih (SII.0437-81)

Derajat putih merupakan persentase perbandingan antara intensitas cahaya biru dengan panjang gelombang 457 nm yang dipantulkan oleh permukaan kertas dengan cahaya sejenis yang dipantulkan

oleh permukaan lapisan magnesium oksida, pada kondisi sudut datang cahaya 45° dan sudut pantul 0° .

Contoh uji disiapkan sebanyak 7 lembar atau lebih dan diletakkan pada bantalan contoh. Lembaran teratas merupakan lembaran penutup agar lembar uji yang dibawahnya tidak terkotori. Setelah alat uji disiapkan, lembaran penutup diangkat dan diletakkan di bawah lembar contoh uji terbawah. Bantalan berisi contoh uji kemudian diletakkan pada lobang contoh alat uji dan pengujian dilakukan sesuai cara uji yang berlaku pada alat. Lembaran contoh yang telah diuji dipindahkan ke bagian bawah tumpukan contoh dan pengujian kembali dilakukan terhadap lembaran contoh uji yang lain.

7. Opasitas Cetak (SII.0531-81)

Pengukuran opasitas cetak dilakukan dengan menggunakan alat reflektometer dengan standar dasar hitam dengan faktor pantul pencahayaan (R_0) kurang dari 0,5%. Contoh lembar uji paling atas tumpukan contoh uji diukur dan dicatat faktor pantul pencahayaan intrinsik (R_{\approx}) kemudian dibandingkan dengan faktor pantul pencahayaannya (R_0) pada daerah yang sama dengan menggunakan dasar hitam.

Opasitas cetak kertas dihitung menurut rumus :

$$\text{Opasitas cetak (\%)} = \frac{R_0}{R_{\approx}} 100$$

Dimana :

R_0 = faktor pantul pencahayaan dari selembur kertas dengan alas standar dasar hitam

R_{\approx} = faktor pantul pencahayaan intrinsik, yaitu faktor pantul pencahayaan dari setumpuk kertas dengan ketebalan yang cukup sehingga tidak tembus cahaya.

Lampiran 4. Kelas Komponen Kimia Kayu*

| Komponen (% berat kering) | Kelas Komponen | | |
|------------------------------|----------------|---------|--------|
| | Tinggi | Sedang | Rendah |
| Selulosa | > 44 | 40 - 44 | < 40 |
| Pentosan | > 24 | 21 - 24 | < 21 |
| Lignin | > 33 | 18 - 32 | < 18 |
| Kadar Sari | > 4 | 2 - 4 | < 2 |

*). Departemen Kehutanan Republik Indonesia, 1976

Lampiran 5. Persyaratan dan Nilai Mutu Serat Sebagai Bahan Baku Pulp

| Parameter | Kelas Mutu | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------|-------|
| | I | | II | | III | | IV | |
| | Syarat | Nilai | Syarat | Nilai | Syarat | Nilai | Syarat | Nilai |
| Panjang serat, l (μm) | >2200 | 100 | 1600-2200 | 75 | 900 -1600 | 50 | < 900 | 25 |
| Bilangan runkel, 2w/l | <0,25 | 100 | 0,25-0,50 | 75 | 0,50-1,00 | 50 | > 1,00 | 25 |
| Daya tenun, L/D | >90 | 100 | 70 - 90 | 75 | 40 - 70 | 50 | < 40 | 25 |
| Perbandingan muhlsthep, % | <0,30 | 100 | 0,30-0,60 | 75 | 0,60-0,80 | 50 | > 0,80 | 25 |
| Perbandingan fleksibilitas, l/D | >0,80 | 100 | 0,60-0,80 | 75 | 0,40-0,60 | 50 | <0,40 | 25 |
| Koefisien Kekakuan, w/D | <0,10 | 100 | 0,10-0,15 | 75 | 0,15-0,20 | 50 | >0,20 | 25 |
| Jumlah Nilai | 600 | | 450 | | 300 | | 150 | |
| Kisaran Nilai | 451 - 600 | | 301 - 450 | | 151 - 300 | | < 150 | |

*) Departemen Kehutanan Republik Indonesia, 1976

Lampiran 6. Ikhtisar Data Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat

| Jamur Pelapuk Putih | Media Propagasi | Selulosa Alfa | | Lignin | | |
|----------------------|----------------------|---------------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | Kadar (%) | % Penurunan | Kadar (%) | % Penurunan | |
| Cipanas | Cair | 1 | 37,70 | 3,85 | 16,00 | 15,79 |
| | | 2 | 37,09 | 5,40 | 16,00 | 15,79 |
| | Rata-rata | 37,40 | 4,63 | 16,00 | 15,79 | |
| | Dedak+Serbuk gergaji | 1 | 34,15 | 12,91 | 15,00 | 21,05 |
| | | 2 | 33,96 | 13,39 | 16,00 | 15,79 |
| | Rata-rata | 34,06 | 13,15 | 15,50 | 18,42 | |
| | Dedak+TKKS | 1 | 36,43 | 7,09 | 16,00 | 15,79 |
| | | 2 | 36,96 | 5,74 | 17,00 | 10,53 |
| | Rata-rata | 36,70 | 6,41 | 16,50 | 13,16 | |
| | Super Fungi | Cair | 1 | 33,20 | 15,33 | 16,00 |
| 2 | | | 33,75 | 13,93 | 15,00 | 21,05 |
| Rata-rata | | 33,48 | 14,63 | 15,50 | 18,42 | |
| Dedak+Serbuk gergaji | | 1 | 25,48 | 35,02 | 14,00 | 26,32 |
| | | 2 | 28,86 | 26,40 | 15,00 | 21,05 |
| Rata-rata | | 27,17 | 30,71 | 14,50 | 23,68 | |
| Dedak+TKKS | | 1 | 28,75 | 26,68 | 16,28 | 14,32 |
| | | 2 | 27,57 | 29,69 | 16,16 | 14,95 |
| Rata-rata | | 28,16 | 28,18 | 16,22 | 14,63 | |
| Kontrol | | - | 39,21 | - | 19,00 | - |

Lampiran 7. Analisa Sidik Ragam Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat

| Analisa | Sumber Variasi | db | JK | KT | F-Hitung | F-Tabel | |
|------------------|-----------------|----|----------|---------|----------|---------------|---------------|
| | | | | | | $\alpha=0,05$ | $\alpha=0,01$ |
| Selulosa alfa | Media Propagasi | 2 | 308,874 | 154,437 | 20,656 | 5,14* | 10,92** |
| | Isolat | 1 | 811,314 | 811,314 | 108,515 | 5,99* | 13,75** |
| | Interaksi | 2 | 71,072 | 35,536 | 4,753 | 5,14 | 10,92 |
| | Kekeliruan | 6 | 44,859 | 7,477 | | | |
| | Total | 11 | 1236,120 | | | | |
| Lignin | Media Propagasi | 2 | 102,753 | 51,377 | 5,546 | 5,14* | 10,92 |
| | Isolat | 1 | 29,266 | 29,266 | 3,159 | 5,99 | 13,75 |
| | Interaksi | 2 | 7,547 | 3,774 | 0,407 | 5,14 | 10,92 |
| | Kekeliruan | 6 | 55,586 | 9,264 | | | |
| | Total | 11 | 195,152 | | | | |

Keterangan : db = derajat bebas
 JK = Jumlah Kuadrat
 KT = Kuadrat Tengah
 * = berpengaruh nyata
 ** = berpengaruh sangat nyata



Lampiran 8. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Penentuan Isolat Jamur Pelapuk Putih dan Media Propagasi Isolat ($\alpha = 0,05$)

| Analisa Sumber Variasi | | Hasil Uji | | |
|------------------------|---------------------|------------|-------------|----------------------|
| Selulosa alfa | Media Propagasi | Cair | Dedak+TKKS | Dedak+Serbuk gergaji |
| | Rata-rata perlakuan | 9,63 | 17,30 | 21,93 |
| Isolat | | Cipanas | Super fungi | |
| | Rata-rata perlakuan | 8,06 | 24,51 | |
| Lignin | Media Propagasi | Dedak+TKKS | Cair | Dedak+serbuk gergaji |
| | Rata-rata perlakuan | 13,90 | 17,11 | 21,05 |

Keterangan : ————— = tidak berbeda nyata

Lampiran 9. Ikhtisar Data Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih Galur *Cipanas* pada Media Cair Kaldu Dekstrosa Kentang

| Jumlah Inokulum (% v/b) | Ulangan | Selulosa Alfa | | Lignin | |
|-------------------------|-----------|---------------|-------------|-----------|-------------|
| | | Kadar (%) | % Penurunan | Kadar (%) | % Penurunan |
| 5 | 1 | 37,26 | 5,43 | 17,63 | 13,24 |
| | 2 | 38,17 | 3,12 | 17,00 | 16,34 |
| | Rata-rata | 37,72 | 4,28 | 17,32 | 14,79 |
| 10 | 1 | 35,40 | 10,15 | 15,50 | 23,72 |
| | 2 | 36,45 | 7,49 | 16,86 | 17,03 |
| | Rata-rata | 35,93 | 8,82 | 16,18 | 20,38 |
| 15 | 1 | 26,13 | 33,68 | 14,00 | 31,10 |
| | 2 | 27,12 | 31,17 | 12,82 | 36,91 |
| | Rata-rata | 26,63 | 32,43 | 13,41 | 34,01 |
| Kontrol | - | 39,40 | - | 20,32 | - |

Lampiran 10. Analisa Sidik Ragam Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih *Cipanas* pada Media Cair Kaldus Dekstrosa Kentang

| Analisa | Sumber Variasi | db | JK | KT | F-Hitung | F-Tabel | |
|------------------|-----------------|----|---------|---------|----------|---------------|---------------|
| | | | | | | $\alpha=0,05$ | $\alpha=0,01$ |
| Selulosa alfa | Rata-rata | 1 | 1381,38 | 1381,38 | | | |
| | Jumlah inokulum | 2 | 913,52 | 456,76 | 146,397 | 9,55* | 30,82** |
| | Kekeliruan | 3 | 9,36 | 3,12 | | | |
| | Total | 6 | 2304,26 | | | | |
| Lignin | Rata-rata | 1 | 3189,66 | 3189,66 | | | |
| | Jumlah inokulum | 2 | 390,79 | 195,395 | 13,300 | 9,55* | 30,82 |
| | Kekeliruan | 3 | 44,06 | 14,687 | | | |
| | Total | 6 | 3624,51 | | | | |

Keterangan : db = derajat bebas
 JK = Jumlah Kuadrat
 KT = Kuadrat Tengah
 * = berpengaruh nyata
 ** = berpengaruh sangat nyata

Lampiran 11. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Penentuan Jumlah Inokulum Jamur Pelapuk Putih *Cipanas* pada Media Cair Kaldu Dekstrosa Kentang ($\alpha = 0,05$)

| Analisa | Sumber Variasi | Hasil Uji | | |
|---------------|-------------------------|-----------|-------|-------|
| | | 5 | 10 | 15 |
| Selulosa alfa | Jumlah Inokulum (% v/b) | 5 | 10 | 15 |
| | Rata-rata perlakuan | 4,28 | 8,82 | 32,43 |
| Lignin | Jumlah Inokulum (% v/b) | 5 | 10 | 15 |
| | Rata-rata perlakuan | 14,79 | 20,38 | 34,01 |

Keterangan : ————— = tidak berbeda nyata

| Waktu inkubasi (hari) | Konsentrasi NaOH (%) | Ulangan | Kode perlakuan | Rendemen (%) | Konsumsi Alkali (%) | Bilangan Kappa | Indeks Sobek Nm ² /kg | Indeks Tarik Nm/g | Opasitas Cetak (%) | Derajat Putih (°GE) |
|-----------------------|----------------------|---------|----------------|--------------|---------------------|----------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 4 | 1 | A1B1U1 | 59,99 | 2,19 | 48,12 | 6,82 | 37,90 | 96,00 | 30,60 |
| | | 2 | A1B1U2 | 63,15 | 2,19 | 47,49 | 6,83 | 35,04 | 97,20 | 30,00 |
| | | Rataan | | 61,57 | 2,19 | 47,80 | 6,83 | 36,47 | 96,60 | 30,30 |
| | 6 | 1 | A1B2U1 | 55,48 | 4,19 | 48,19 | 7,33 | 41,51 | 97,90 | 32,00 |
| | | 2 | A1B2U2 | 60,79 | 4,64 | 47,49 | 6,67 | 43,58 | 97,60 | 32,20 |
| | | Rataan | | 58,14 | 4,42 | 47,84 | 8,00 | 42,55 | 97,75 | 32,10 |
| 8 | 1 | A1B3U1 | 55,32 | 4,26 | 47,10 | 8,40 | 49,12 | 97,10 | 33,30 | |
| | 2 | A1B3U2 | 58,21 | 6,13 | 47,31 | 8,81 | 37,36 | 96,40 | 35,30 | |
| | Rataan | | 56,77 | 5,20 | 47,21 | 8,60 | 43,24 | 96,75 | 34,30 | |
| 10 | 4 | 1 | A2B1U1 | 47,19 | 1,46 | 47,08 | 6,67 | 37,61 | 97,80 | 32,60 |
| | | 2 | A2B1U2 | 48,95 | 2,19 | 47,61 | 4,85 | 34,51 | 96,50 | 29,40 |
| | | Rataan | | 48,07 | 1,83 | 47,35 | 5,80 | 36,06 | 97,15 | 31,00 |
| | 6 | 1 | A2B2U1 | 44,28 | 4,19 | 47,88 | 5,75 | 45,15 | 99,00 | 31,50 |
| | | 2 | A2B2U2 | 48,73 | 3,28 | 47,75 | 7,13 | 41,03 | 97,80 | 30,70 |
| | | Rataan | | 46,51 | 3,74 | 47,82 | 6,44 | 43,09 | 98,40 | 31,10 |
| 8 | 1 | A2B3U1 | 46,76 | 4,38 | 46,13 | 6,86 | 46,63 | 96,50 | 32,40 | |
| | 2 | A2B3U2 | 48,55 | 5,28 | 46,13 | 7,59 | 43,90 | 95,50 | 33,10 | |
| | Rataan | | 47,66 | 4,83 | 46,13 | 7,22 | 45,26 | 96,00 | 32,75 | |
| 20 | 4 | 1 | A3B1U1 | 52,91 | 3,03 | 47,34 | 5,24 | 34,92 | 98,30 | 28,30 |
| | | 2 | A3B1U2 | 57,96 | 3,00 | 47,94 | 5,33 | 30,31 | 97,80 | 30,00 |
| | | Rataan | | 55,44 | 3,02 | 47,64 | 5,28 | 32,62 | 98,05 | 29,15 |
| | 6 | 1 | A3B2U1 | 52,94 | 4,85 | 47,94 | 6,49 | 38,77 | 98,80 | 29,00 |
| | | 2 | A3B2U2 | 48,44 | 4,85 | 47,18 | 4,04 | 26,06 | 98,60 | 29,00 |
| | | Rataan | | 50,69 | 4,85 | 47,56 | 5,27 | 32,42 | 98,70 | 29,00 |
| 8 | 1 | A3B3U1 | 50,13 | 5,89 | 46,96 | 5,13 | 36,17 | 97,09 | 30,20 | |
| | 2 | A3B3U2 | 51,32 | 5,89 | 46,49 | 6,59 | 40,16 | 97,60 | 30,10 | |
| | Rataan | | 50,73 | 5,89 | 46,73 | 5,86 | 38,17 | 97,35 | 30,15 | |
| 30 | 4 | 1 | A4B1U1 | 50,70 | 2,68 | 46,83 | 5,68 | 38,75 | 97,80 | 30,20 |
| | | 2 | A4B1U2 | 56,07 | 3,00 | 46,15 | 6,02 | 32,98 | 98,70 | 31,10 |
| | | Rataan | | 53,39 | 2,84 | 46,49 | 5,85 | 35,86 | 98,25 | 30,65 |
| | 6 | 1 | A4B2U1 | 55,35 | 4,94 | 46,69 | 5,77 | 34,18 | 98,90 | 30,40 |
| | | 2 | A4B2U2 | 51,08 | 3,89 | 46,90 | 5,55 | 35,80 | 98,00 | 29,50 |
| | | Rataan | | 53,22 | 4,42 | 46,80 | 5,66 | 34,99 | 98,45 | 29,95 |
| 8 | 1 | A4B3U1 | 52,28 | 6,19 | 46,49 | 6,02 | 37,30 | 98,50 | 30,60 | |
| | 2 | A4B3U2 | 53,00 | 5,13 | 46,29 | 7,46 | 41,72 | 98,00 | 31,50 | |
| | Rataan | | 52,64 | 5,66 | 46,39 | 6,74 | 39,51 | 98,25 | 31,05 | |

Lampiran 13. Analisa Sidik Ragam Sifat Fisik dan Kimia Pulp

| Analisa | Sumber Variasi | db | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | F-Hitung | F-Tabel | |
|-----------------|------------------|----|----------------|----------------|----------|---------------|---------------|
| | | | | | | $\alpha=0,05$ | $\alpha=0,01$ |
| Rendemen | Waktu Inkubasi | 3 | 393,832 | 131,277 | 18,822 | 3,49* | 5,95** |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 35,473 | 17,737 | 2,543 | 3,89 | 6,93 |
| | Interaksi | 6 | 22,075 | 3,679 | 0,528 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 83,697 | 6,975 | | | |
| | Total | 23 | 535,078 | | | | |
| Konsumsi alkali | Waktu Inkubasi | 3 | 4,243 | 1,414 | 4,140 | 3,49* | 5,95 |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 35,207 | 17,603 | 51,523 | 3,89* | 6,93** |
| | Interaksi | 6 | 0,236 | 0,039 | 0,115 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 4,100 | 0,342 | | | |
| | Total | 23 | 43,785 | | | | |
| Bilangan Kappa | Waktu Inkubasi | 3 | 3,574 | 1,191 | 9,746 | 3,49* | 5,95** |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 3,536 | 1,768 | 14,463 | 3,89* | 6,93** |
| | Interaksi | 6 | 1,203 | 0,201 | 1,641 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 1,467 | 0,122 | | | |
| | Total | 23 | 9,780 | | | | |
| Indeks Tarik | Waktu Inkubasi | 3 | 201,337 | 67,112 | 3,670 | 3,49* | 5,95 |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 158,502 | 79,251 | 4,333 | 3,89* | 6,93 |
| | Interaksi | 6 | 55,121 | 9,187 | 0,502 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 219,461 | 18,288 | | | |
| | Total | 23 | 634,421 | | | | |
| Indeks Sobek | Waktu Inkubasi | 3 | 12,777 | 4,259 | 6,118 | 3,49* | 5,95** |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 6,506 | 3,253 | 4,672 | 3,89* | 6,93 |
| | Interaksi | 6 | 1,264 | 0,211 | 0,303 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 8,354 | 0,696 | | | |
| | Total | 23 | 28,901 | | | | |
| Opasitas Cetak | Waktu Inkubasi | 3 | 7,127 | 2,376 | 6,653 | 3,49* | 5,95** |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 6,337 | 3,168 | 8,873 | 3,89* | 6,93** |
| | Interaksi | 6 | 2,880 | 0,480 | 1,344 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 4,285 | 0,357 | | | |
| | Total | 23 | 20,629 | | | | |
| Derajat Putih | Waktu Inkubasi | 3 | 27,308 | 9,103 | 10,354 | 3,49* | 5,95** |
| | Konsentrasi NaOH | 2 | 14,906 | 7,453 | 8,477 | 3,89* | 6,93** |
| | Interaksi | 6 | 7,814 | 1,302 | 1,484 | 3,00 | 4,82 |
| | Kekeliruan | 12 | 10,550 | 0,879 | | | |
| | Total | 23 | 60,578 | | | | |

Keterangan : db = derajat bebas

* = berpengaruh nyata

** = berpengaruh sangat nyata

Lampiran 14. Hasil Uji Jarak Berganda Duncan Sifat Fisik dan Kimia Pulp ($\alpha = 0,05$)

| Analisa | Sumber Variasi | Hasil Uji | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 0 |
| Rendemen | Waktu Inkubasi (hari) | 10 | 20 | 30 | 0 |
| | Rata-rata perlakuan | 47,41 | 52,28 | 53,08 | 58,82 |
| Konsumsi alkali | Waktu Inkubasi (hari) | 10 | 0 | 30 | 20 |
| | Rata-rata perlakuan | 3,46 | 3,94 | 4,31 | 4,59 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 4 | 6 | 8 |
| | Rata-rata perlakuan | | 2,47 | 4,35 | 5,39 |
| Bilangan kappa | Waktu Inkubasi (hari) | 30 | 10 | 20 | 0 |
| | Rata-rata perlakuan | 46,59 | 47,10 | 47,31 | 47,62 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 8 | 4 | 6 |
| | Rata-rata perlakuan | | 46,61 | 47,32 | 47,50 |
| Indeks Tarik | Waktu Inkubasi (hari) | 20 | 30 | 0 | 10 |
| | Rata-rata perlakuan | 34,40 | 36,79 | 40,75 | 41,47 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 4 | 6 | 8 |
| | Rata-rata perlakuan | | 35,25 | 38,26 | 41,55 |
| Indeks Sobek | Waktu Inkubasi (hari) | 20 | 30 | 10 | 0 |
| | Rata-rata perlakuan | 5,47 | 6,08 | 6,47 | 7,48 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 4 | 6 | 8 |
| | Rata-rata perlakuan | | 5,93 | 6,09 | 7,11 |
| Derajat Putih | Waktu Inkubasi (hari) | 20 | 30 | 10 | 0 |
| | Rata-rata perlakuan | 29,43 | 30,55 | 31,62 | 32,23 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 4 | 6 | 8 |
| | Rata-rata perlakuan | | 30,28 | 30,54 | 32,06 |
| Opasitas Cetak | Waktu Inkubasi (hari) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| | Rata-rata perlakuan | 97,03 | 97,18 | 98,03 | 98,32 |
| | Konsentrasi NaOH (%) | | 8 | 4 | 6 |
| | Rata-rata perlakuan | | 97,09 | 97,51 | 98,33 |

Keterangan : ————— = tidak berbeda nyata