

Submitted : 1 April 2025

Revised : 12 May 2025

Accepted : 2 June 2025

KERTAS ANTI RAYAP BERBAHAN LIMBAH KULIT KACANG TANAH DAN BULU AYAM DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK DAUN SIRSAK

Aldila Laksmi Nurmalitasari*, Maya Angelina, Sri Redjeki

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

*Email: aldilalaksmi1@gmail.com

Abstrak

Kertas dengan bahan baku selulosa kerap kali dijadikan santapan oleh rayap, dalam mencegah hal tersebut tercipta sebuah inovasi berupa kertas anti rayap. Daun sirsak memiliki kandungan senyawa *acetogenin* 49% yang berfungsi sebagai racun perut untuk membunuh rayap. Tujuan penelitian ini adalah membuat kertas anti rayap dari kulit kacang tanah dan bulu ayam dengan penambahan ekstrak daun sirsak sesuai dengan standar SNI 01.7207-2006, meliputi parameter penurunan berat kertas, *lethal time*, dan mortalitas rayap. Pembuatan kertas anti rayap dilakukan dengan penambahan ekstrak daun sirsak konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 % dengan waktu pengamatan terhadap kematian rayap selama 1 hingga 5 hari. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak daun sirsak pada kertas efektif meningkatkan ketahanan terhadap rayap sesuai standar SNI. Konsentrasi 8% menunjukkan hasil terbaik, dengan mortalitas rayap 100% dalam empat hari dan LT_{50} tercapai dalam tiga hari pada konsentrasi 6%, 8%, dan 10%. Analisis RSM menunjukkan titik optimum pada konsentrasi 8% dan waktu 5 hari, dengan mortalitas 95,22% dan penurunan berat kertas 0,23%. Ekstrak daun sirsak terbukti efektif sebagai bahan anti rayap dalam pembuatan kertas dengan konsentrasi optimal 8%.

Kata Kunci: Bulu ayam; Ekstrak daun sirsak; Kertas; Kulit kacang tanah; Rayap

Abstract

Paper made from cellulose-based materials is frequently targeted by termites. To address this issue, an innovation was developed in the form of termite-resistant paper. Soursop (*Annona muricata*) leaves contain approximately 49% acetogenin compounds, which act as stomach poisons to kill termites. This study aims to produce termite-resistant paper from peanut shells and chicken feathers with the addition of soursop leaf extract, in accordance with the Indonesian National Standard (SNI) 01.7207-2006. The parameters evaluated include paper weight loss, lethal time (LT_{50}), and termite mortality. Termite-resistant paper was produced with soursop leaf extract concentrations of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10%, with termite mortality observed over a period of 1 to 5 days. The results showed that the addition of soursop leaf extract effectively increased termite resistance in accordance with SNI standards. A concentration of 8% yielded the best results, achieving 100% termite mortality within four days, and LT_{50} was reached within three days at concentrations of 6%, 8%, and 10%. Response Surface Methodology (RSM) analysis identified the optimal condition at 8% concentration and 5 days of observation, resulting in 95.22% termite mortality and a paper weight loss of 0.23%. Soursop leaf extract is thus proven to be an effective anti-termite additive in paper production with an optimal concentration of 8%.

Keywords: Chicken feather; Paper; Peanut shell; Soursop leaf extract; Termites

1. PENDAHULUAN

Rayap merupakan serangga pemakan selulosa yang dapat merusak berbagai bahan seperti kayu,

kertas, dan karton. Spesies dari genus *Coptotermes* dan *Schedorhinotermes* diketahui paling merusak (Paranrengi et al., 2018). Kertas anti rayap telah

ditemukan untuk melindungi bahan-bahan tersebut, namun bahan yang digunakan mengandung logam berat berupa timbal yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Querner et al., 2022). Pembuatan kertas anti rayap mengalami perkembangan pesat dengan mengganti bahan yang mengandung timbal menjadi bahan alami dari tanaman sehingga lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, produksi kacang tanah di Jawa Timur mencapai 119.518 ton, menghasilkan sekitar 35.855 ton limbah kulit kacang yang belum dimanfaatkan. Kulit kacang tanah merupakan limbah biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar. Dengan kandungan serat selulosa sebesar 48%, kulit kacang memiliki potensi besar sebagai bahan baku pembuatan pulp untuk kertas (Bobet et al., 2020). Pemanfaatan limbah ini sebagai bahan kertas dapat meningkatkan nilai ekonomi dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah pertanian.

Pembuatan kertas dari serat kulit kacang memerlukan proses delignifikasi untuk mengurangi kandungan lignin dan meningkatkan kadar selulosa. Proses ini melibatkan hidrolisis guna memisahkan selulosa dari lignin yang sulit terdegradasi dan dapat menurunkan kualitas kertas. Ukuran sampel berpengaruh terhadap efektivitas hidrolisis, di mana ukuran yang lebih kecil meningkatkan luas permukaan kontak dengan larutan NaOH. NaOH bekerja dengan memutus ikatan lignin melalui ion OH^- dan membentuk natrium fenolat melalui ion Na^+ , sehingga mempercepat pemisahan lignoselulosa (Dewi et al., 2019).

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur, pada tahun 2021 terdapat 442.479 ekor ayam yang dipotong, menghasilkan limbah bulu ayam sebesar 26.548 ton. Limbah ini mengandung protein keratin berstruktur alfa-heliks yang sulit terurai karena terdapat ikatan disulfida dari asam amino sistein (Chilakamarry et al., 2021). Bulu ayam memiliki kandungan protein sebesar 80% dan keratin sebesar 85% dari total protein (Afrozi & Azzami, 2019). Akumulasi limbah ini dapat berdampak buruk pada kesehatan dan lingkungan. Keratin dalam bulu ayam berpotensi dimanfaatkan sebagai *filler* dalam pembuatan kertas.

Keratin dalam bulu ayam dapat dihidrolisis menggunakan larutan basa, baik encer maupun pekat, untuk menghasilkan protein terlarut (Fitriyanto et al., 2022). Hidrolisis protein adalah proses pemecahan ikatan peptida menjadi molekul sederhana dengan bantuan air, yang dapat dipicu oleh asam, basa, panas, atau enzim (Adlin et al., 2019) Proses ini memutus ikatan kuat dalam keratin seperti ikatan peptida dan amida, menghasilkan rantai peptida yang lebih pendek. Keratin hasil hidrolisis ini dapat dimanfaatkan sebagai perekat alami dalam pembuatan kertas.

Daun sirsak mengandung senyawa metabolit yang bersifat racun bagi rayap. Senyawa ini meliputi 49% asetogenin, yang mencakup 26% alkaloid, 19% flavonoid 19%, dan 6% tanin (Mutakin et al., 2021).

Asetogenin berfungsi sebagai insektisida alami, bekerja sebagai racun kontak maupun racun perut, serta memiliki efek sebagai penolak serangga, larvasida, dan *anti-feedant*. Pada konsentrasi tinggi, senyawa ini bertindak sebagai racun perut yang mematikan serangga. Asetogenin memengaruhi pernapasan dan pergerakan rayap tanah, menyerang sistem sarafnya, dan secara bertahap menyebabkan kematian rayap (Rahmawati et al., 2019). Untuk memperoleh kandungan senyawa tersebut dilakukan proses ekstraksi soxhletasi. Ekstraksi soxhletasi dilakukan sebanyak delapan kali sirkulasi untuk memperoleh hasil ekstrak murni (Hulyadi & Fibonacci, 2018). Asetogenin, flavonoid, dan tanin merupakan senyawa polar, sehingga pelarut yang digunakan adalah pelarut polar seperti etanol (Hasmilla et al., 2019). Jenis pelarut tersebut berpengaruh terhadap hasil rendemen ekstrak dan kadar senyawa *acetogenin*, flavonoid, serta tanin yang diperoleh. Semakin tinggi kepolaran pelarut, maka hasil yang diperoleh semakin baik (Fakhruzy et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Muryeti & Budimulyani (2024) mengkaji pembuatan kertas antirayap dengan penambahan larutan kitosan sebagai bahan aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kitosan efektif dalam meningkatkan mortalitas rayap. Konsentrasi larutan kitosan sebesar 3% memberikan hasil terbaik, dengan tingkat mortalitas rayap mencapai 94%. Penelitian tersebut menunjukkan potensi kitosan sebagai bahan alami yang efektif dalam formulasi kertas antirayap. Pembuatan kertas anti rayap berbahan kulit kacang tanah, kertas bekas, dan penambahan ekstrak serai (*Cymbopogon nardus* L.) mendapatkan hasil terbaik dengan mortalitas rayap sebesar 60% pada penambahan konsentrasi ekstrak serai sebesar 5% pada 25 g kertas bekas dan 50 g kulit kacang tanah. Senyawa yang terkandung dalam ekstrak serai seperti 45% *citronella*, 18% geraniol, 8% geraniol asetat inilah yang mampu untuk membunuh rayap (Widjanarko et al., 2022).

Trimayanto et al. (2019) melakukan penelitian menggunakan variabel bahan baku berupa bonggol jagung dan kulit jagung dengan penambahan ekstrak daun kirinyuh memperoleh hasil terbaik konsentrasi ekstrak daun kirinyuh sebesar 8% mortalitas rayap dengan persentase mencapai 100% dalam dua hari. Senyawa yang terkandung dalam daun kirinyuh tersebut terdiri atas 60% monoterpen dan 28% sesquiterpen.

Penelitian ini menggunakan bahan baku limbah kulit kacang tanah dan bulu ayam yang dapat mengurangi limbah serta penambahan ekstrak daun sirsak yang digunakan sebagai insektisida dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, dan 10% dengan waktu pengamatan 1-5 hari, sehingga diharapkan dapat menghasilkan kertas anti rayap sesuai dengan standar SNI 01.7207-2006 meliputi persentase penurunan berat kertas. Selain itu, diharapkan juga nilai persentase mortalitas rayap tinggi serta *lethal time 50* yang lebih singkat. Optimasi persentase penurunan berat kertas dan mortalitas rayap dari variabel

dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM) menggunakan perangkat lunak Design Expert 13.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Kulit kacang tanah didapatkan dari limbah kacang shanghai cap Macan di Tulungagung, bulu ayam didapatkan dari limbah pemotongan ayam di Surabaya, daun sirsak dari Perkebunan sirsak di Tulungagung, NaOH 15%, dan etanol 96%.

2.2 Metode Penelitian

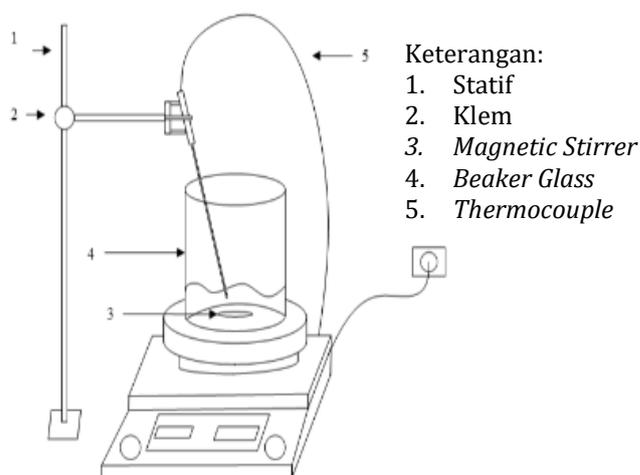
Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan lima perlakuan konsentrasi ekstrak daun sirsak: 2, 4, 6, 8, dan 10%. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali replikasi untuk menjamin keandalan data dan mengurangi kesalahan acak. Pengamatan dilakukan selama lima hari dengan parameter yang diukur meliputi mortalitas rayap (%) dan penurunan berat kertas (%). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji *response surface methodology* (RSM).

2.3 Prosedur Kerja

Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya. Tahapan Penelitian dibagi menjadi empat, yaitu tahap delignifikasi, hidrolisis keratin bulu ayam, ekstraksi daun sirsak, dan pembuatan kertas anti rayap.

2.3.1 Tahap delignifikasi kulit kacang tanah

Kulit kacang tanah terlebih dahulu dicuci menggunakan air, kemudian diperkecil ukurannya menggunakan blender. Setelah halus, bahan dikeringkan dalam oven selama satu jam pada suhu 100°C. Selanjutnya, kulit kacang yang telah kering digiling menggunakan grinder hingga halus. Sebanyak 50 gram serbuk tersebut dimasukkan ke dalam gelas beaker dan ditambahkan larutan NaOH 15% dengan rasio 8:1 antara larutan dan bahan baku. Campuran kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 160 rpm sambil dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 100°C selama 100 menit. Setelah proses pemasakan selesai, campuran didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Pulp yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring Whatman Grade 4 90 mm untuk memisahkan residu dari filtrat. Residu yang diperoleh kemudian dicuci dengan air hingga bersih dan dilakukan penyesuaian pH hingga mencapai nilai netral (pH 7) guna menghilangkan sisa larutan NaOH. Gambar rangkaian alat delignifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



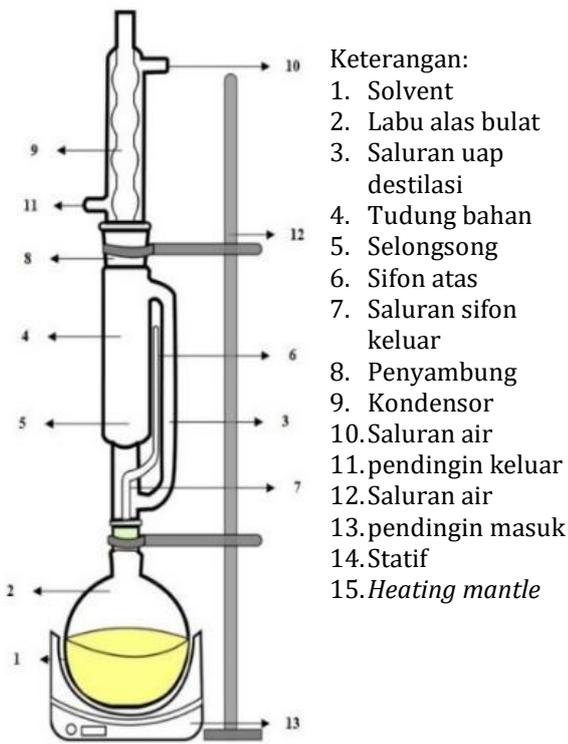
Gambar 1. Rangkaian alat delignifikasi

2.3.2 Tahap hidrolisis bulu ayam

Bulu ayam dicuci terlebih dahulu menggunakan air, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 60 menit. Setelah kering, dilakukan pemisahan antara bulu dan tangkainya. Sebanyak 50 gram bulu ayam dimasukkan ke dalam gelas beaker, lalu ditambahkan larutan NaOH 1 M dengan perbandingan larutan terhadap bahan baku sebesar 5:1, yaitu 250 ml NaOH 1 M untuk 50 gram bulu ayam. Campuran tersebut kemudian ditutup rapat menggunakan plastik dan dibiarkan selama dua hari untuk proses hidrolisis. Setelah dua hari, hidrolisat kasar yang terbentuk dicuci dan disaring menggunakan kain. Filtrat dari hasil penyaringan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 60 menit. Setelah kering, hidrolisat selanjutnya dihaluskan menggunakan blender.

2.3.3 Tahap ekstraksi daun sirsak

Sebanyak 50 gram daun sirsak dikeringkan selama dua hari, kemudian dihaluskan menggunakan blender. Setelah itu, batu didih dimasukkan ke dalam labu alas bulat. Daun sirsak yang telah halus dibungkus menggunakan kertas saring, diikat, dan dimasukkan ke dalam tabung thimble dengan tinggi tidak melebihi tabung sifon. Selanjutnya, sebanyak 375 ml etanol 96% digunakan sebagai pelarut dan ditambahkan ke dalam tabung thimble. Perangkat soxhlet kemudian dirakit bersama kondensor, dan bagian atas kondensor ditutup dengan corong kaca serta kapas. Uap pelarut mengalir melalui pipa F menuju kondensor, lalu mengembun dan menetes kembali ke dalam labu alas bulat, menandai satu siklus ekstraksi. Proses ekstraksi daun sirsak dilakukan delapan kali siklus untuk memperoleh hasil rendemen sebesar 25%. Setelah diperoleh ekstrak tersebut, dilakukan pengenceran menggunakan 100 ml air untuk mendapatkan larutan dengan konsentrasi masing-masing 2, 4, 6, 8, dan 10%. Gambar rangkaian alat ekstraksi soxhletasi dapat dilihat pada Gambar 2.



- Keterangan:
1. Solvent
 2. Labu alas bulat
 3. Saluran uap destilasi
 4. Tudung bahan
 5. Selongsong
 6. Sifon atas
 7. Saluran sifon keluar
 8. Penyambung
 9. Kondensor
 10. Saluran air
 11. pendingin keluar
 12. Saluran air
 13. pendingin masuk
 14. Statif
 15. Heating mantle

Gambar 2. Rangkaian alat ekstraksi soxhletasi

2.3.4 Tahap pembuatan kertas anti rayap

Pulp dari kulit kacang tanah dan serbuk bulu ayam dicampurkan dengan perbandingan 1:1 (50:50) menggunakan blender, kemudian ditambahkan 500 ml air untuk mempermudah proses penghalusan. Sebanyak 7 gram lem polivinil asetat (PVAc) juga ditambahkan sebagai bahan pengikat antara pulp kacang dan bulu ayam, serta berfungsi sebagai bahan pengisi untuk meningkatkan kemampuan cetak. Campuran pulp kemudian dituangkan ke atas papan *screen* berukuran A4 hingga seluruh permukaannya tertutup. Selanjutnya, bagian bawah papan *screen* ditekan menggunakan spons atau kain guna mengurangi kadar air hingga tidak ada air yang menetes. Setelah itu, pulp yang telah dicetak dipindahkan ke atas kain dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 60 menit. Setelah kering, kertas direndam dalam ekstrak daun sirsak selama 1-2 hari sesuai dengan variasi konsentrasi (2, 4, 6, 8, dan 10%). Proses diakhiri dengan pengeringan kembali menggunakan oven pada suhu 100°C selama 60 menit. Kertas yang dihasilkan kemudian diuji melalui pengukuran penurunan berat, *lethal time*, dan mortalitas rayap.

2.4 Optimasi Hasil dengan RSM Design Expert 13

Data hasil analisis dilakukan optimasi menggunakan *design expert* 13 untuk mengetahui hasil optimum persen penurunan berat kertas dan mortalitas rayap dengan variabel konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan. *Response surface methodology* (RSM) adalah teknik matematika dan statistik untuk memodelkan dan mengoptimalkan respons yang dipengaruhi oleh beberapa variabel. Visualisasinya sering menggunakan *contour plot*, yang

menunjukkan garis-garis dengan nilai respons sama pada bidang dua variabel (*central composite design*) (Ardiansyah et al., 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

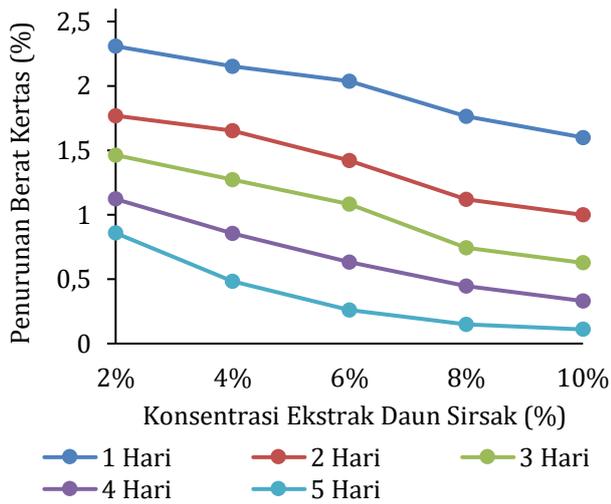
3.1 Uji Penurunan Berat Kertas

Ketahanan kertas terhadap rayap bisa ditentukan berdasarkan penurunan berat kertas. Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis uji penurunan berat kertas (%) menunjukkan bahwa pada hari pertama pengamatan, kertas dengan penambahan ekstrak daun sirsak konsentrasi 8 dan 10% tergolong dalam kategori sangat tahan. Waktu 3 hingga 4 hari mampu menyebabkan kematian rayap secara menyeluruh, yang menunjukkan bahwa perlakuan tersebut sangat efektif dan termasuk dalam kategori sangat tahan. Pada konsentrasi 2, 4, dan 6% termasuk dalam kategori tahan. Pada kategori ini, kematian rayap terjadi lebih cepat, yaitu dalam waktu 1 hingga 2 hari, namun tidak menyeluruh. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitasnya lebih rendah dibandingkan dengan kategori sangat tahan, karena tidak berhasil membunuh seluruh populasi rayap secara konsisten. Berdasarkan standar mutu SNI 01.7207-2006, seluruh hasil pengujian dari berbagai konsentrasi memenuhi standar yang berlaku. Penambahan ekstrak daun sirsak memengaruhi berat awal kertas, sedangkan berat akhir kertas dipengaruhi oleh tingkat kerusakan yang disebabkan oleh serangan rayap.

Dari Gambar 3 terlihat semakin tinggi konsentrasi ekstrak daun sirsak, semakin kecil penurunan berat kertas, yang menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik. Menurut penelitian Ismanto et al. (2020), menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun sirsak akan menurunkan kehilangan berat kertas akibat rayap. Hal ini terjadi karena terdapat kandungan senyawa *acetogenin* yang berfungsi sebagai *anti-feedant* yang dapat membunuh rayap (Luth et al., 2020). Penelitian yang dilakukan Fahrudin et al. (2025) menggunakan kulit jengkol sebagai bio-insektisida dengan konsentrasi 4% memperoleh penurunan berat bahan uji sebesar 5,72%. Penelitian ini membuktikan bahwa menggunakan ekstrak daun sirsak lebih efektif digunakan sebagai insektisida alami.

Tabel 1. Hasil analisis penurunan berat kertas

Konsentrasi ekstrak daun sirsak (%)	Penurunan Berat Kertas (%)				
	1 Hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari
2	2,31	1,77	1,46	1,12	0,86
4	2,15	1,65	1,27	0,86	0,48
6	2,04	1,42	1,08	0,63	0,26
8	1,76	1,12	0,74	0,44	0,15
10	1,60	0,99	0,62	0,33	0,11



Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi ekstrak daun sirsak dengan waktu pengamatan terhadap penurunan berat kertas

3.2 Uji Waktu Kematian (*Lethal Time L50*)

Standar lain yang diperhatikan dalam uji kertas anti rayap adalah *lethal time* (LT_{50}). *Lethal time* rayap adalah waktu yang dibutuhkan agar kematian rayap mencapai 50%. Berdasarkan Tabel 2 yang disajikan, diketahui bahwa *lethal time* sebesar 50% tercapai pada hari ke-empat dengan penambahan ekstrak daun sirsak konsentrasi 4%. Sementara itu, pada konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 6, 8, dan 10%, nilai LT_{50} tercapai lebih cepat, yakni dalam tiga hari pengamatan. Penentuan waktu kematian sangat penting untuk menilai efektivitas suatu pestisida dalam mengendalikan hama. Efektivitas ekstrak daun sirsak dalam membunuh rayap menjadikan kertas menjadi tahan terhadap serangan rayap. Kenaikan konsentrasi ekstrak daun sirsak meningkatkan kadar senyawa aktif *acetogenin*, yang bersifat neurotoksik bagi rayap. Senyawa ini mengganggu sistem saraf dan metabolisme rayap, mempercepat kerusakan sel hingga kematian pada rayap (Putria et al., 2024).

Tabel 2. Hasil analisis *lethal time*

Konsentra si ekstrak daun sirsak	Lethal Time (%)				
	1 Hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari
2%	7	13	27	40	47
4%	7	13	33	53	67
6%	7	20	53	67	73
8%	13	20	53	100	100
10%	13	27	60	100	100

3.3 Uji Mortalitas Rayap

Uji mortalitas rayap digunakan untuk mengetahui efektifitas dari konsentrasi ekstrak daun sirsak yang ditambahkan terhadap kematian rayap. Tabel 3 menunjukkan bahwa tingkat kematian rayap (mortalitas) tertinggi, yakni mencapai 100%, terjadi pada konsentrasi ekstrak daun sirsak 8 dan 10% setelah 4 hari pengamatan. Sementara itu, tingkat mortalitas terendah tercatat pada konsentrasi 2%,

yaitu sebesar 47% setelah 5 hari. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Mandagi et al. (2023) menyatakan bahwa peningkatan waktu pengamatan dan konsentrasi ekstrak berbanding lurus dengan peningkatan angka kematian rayap, karena rayap mengalami kelaparan yang berujung pada kematian total. Peningkatan konsentrasi ekstrak daun sirsak menghasilkan peningkatan mortalitas rayap. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa *anti-feedant* seperti *acetogenin* dalam ekstrak daun sirsak. Senyawa *acetogenin* pada konsentrasi tinggi berfungsi sebagai racun perut yang dapat mematikan rayap. Racun bekerja melalui dua jalur, yakni melalui kontak langsung dan lewat makanan yang dikonsumsi rayap. Setelah masuk ke sistem pencernaan, senyawa diserap oleh dinding usus dan kemudian menyebar ke sistem saraf pusat, merusak saraf rayap, dan menyebabkan kematian secara bertahap (Rahmawati et.al., 2019). Pengamatan terhadap mortalitas rayap terlihat pada Gambar 5.

Tabel 3. Hasil analisis mortalitas rayap

Konsentra si ekstrak daun sirsak	Mortalitas Rayap (%)				
	1 Hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari
2%	7	13	27	40	47
4%	7	13	33	53	67
6%	7	20	53	67	73
8%	13	20	53	100	100
10%	13	27	60	100	100



Gambar 4. Pengamatan mortalitas rayap

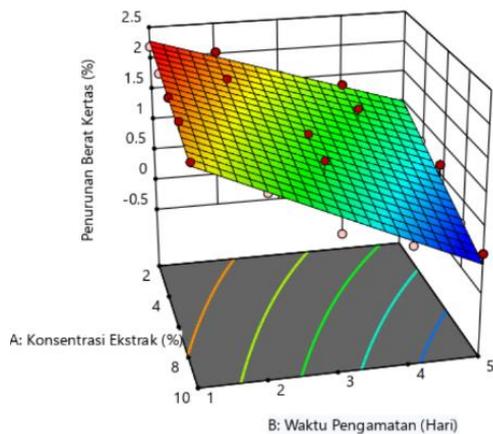
3.4 Optimasi dengan RSM Design Expert 13

Hasil optimasi menunjukkan hubungan antara variabel yang dimodifikasi yaitu konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan rayap dengan respons penurunan berat kertas dan mortalitas. Model yang dihasilkan dari proses optimasi ini adalah model *quadratic* pada penurunan berat kertas dan model interaksi dua faktor (2FI) pada mortalitas rayap dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\text{Penurunan berat kertas} = 3,0971 - 0,1341X_1 - 0,5152X_2 - 0,0002X_1.X_2 + 0,0039X_1^2 + 0,021 X_2^2 \quad (1)$$

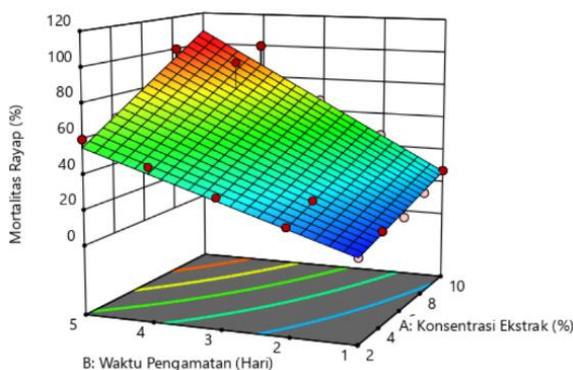
$$\text{Mortalitas rayap} = -1,053 - 0,3386X_1 + 7,7734X_2 + 1,3946 X_1.X_2 \quad (2)$$

Dengan X_1 adalah konsentrasi ekstrak daun sirsak dan X_2 adalah waktu pengamatan.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan terhadap penurunan berat kertas

Berdasarkan Gambar 5 model kurva permukaan respon nilai penurunan berat kertas dengan konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan adalah interaksi dua faktor (2FI). Kurva yang diperoleh terdapat 3 warna yang berbeda. Warna merah menandakan tingginya penurunan berat kertas yang disebabkan oleh konsentrasi ekstrak daun sirsak yang rendah dan waktu pengamatan singkat, warna hijau menandakan titik tengah dimana persentase penurunan berat kertas mengalami penurunan yang cukup besar disebabkan oleh pengaruh konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan yang semakin lama, warna biru menandakan rendahnya persentase penurunan berat kertas yang dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan yang lama.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi ekstrak daun sirsak dan waktu pengamatan terhadap mortalitas rayap

Pada Gambar 6, model kurva permukaan respon terhadap nilai penurunan berat kertas berdasarkan konsentrasi ekstrak daun sirsak dan lama waktu pengamatan menunjukkan tipe interaksi dua faktor (2FI). Kurva yang dihasilkan terdiri dari tiga gradasi warna. Warna merah mengindikasikan tingkat persentase mortalitas rayap yang tinggi, akibat tingginya konsentrasi ekstrak daun sirsak dan durasi pengamatan yang panjang. Warna hijau

merepresentasikan area transisi atau titik tengah, di mana terjadi penurunan mortalitas rayap yang cukup signifikan karena konsentrasi ekstrak mulai menurun dan waktu pengamatan lebih singkat. Sementara itu, warna biru menunjukkan tingkat mortalitas rayap yang rendah, dipengaruhi oleh kombinasi konsentrasi ekstrak yang rendah dan waktu pengamatan yang pendek.

Tabel 4. Titik optimum hasil optimasi berdasarkan RSM

Konsentrasi ekstrak daun sirsak	Waktu Pengamatan	Penurunan Berat Kertas	Mortalitas Rayap	Desirability
9,1%	4,5 Hari	0,23%	92,5%	1

Berdasarkan Tabel 4, analisis menggunakan Design Expert 13 dengan persamaan interaksi dua faktor (2FI) menunjukkan nilai penurunan berat kertas sebesar 0,23% yang memenuhi standar SNI 01.7207-2006 dan mortalitas rayap sebesar 95,22% pada konsentrasi ekstrak 8% dengan waktu pengamatan 5 hari. *Desirability* merupakan suatu indikator yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana solusi optimal yang dihasilkan memenuhi tujuan dari respons yang diinginkan. Nilai *desirability* sebesar 1 menandakan bahwa hasil optimasi telah mencapai titik optimum yang sangat memuaskan.

4. KESIMPULAN

Pembuatan kertas anti rayap dari kulit kacang tanah dan bulu ayam dengan ekstrak daun sirsak yang dilakukan dengan analisis penurunan berat kertas dan mortalitas rayap sudah memenuhi standar SNI 01.7207-2006. Kondisi terbaik didapatkan pada konsentrasi ekstrak daun sirsak 8% pada waktu pengamatan 4 hari dengan penurunan berat kertas sebesar 0,44% memiliki predikat sangat tahan dan nilai mortalitas sempurna sebesar 100%. Nilai *lethal time* 50 terdapat pada konsentrasi ekstrak daun sirsak 8% dengan waktu pengamatan 3 hari. Berdasarkan optimasi RSM menggunakan Design Expert 13, diperoleh penurunan berat kertas sebesar 0,23% dan mortalitas rayap sebesar 92,5% pada konsentrasi ekstrak 9,102% dengan waktu pengamatan 4 hari. Ekstrak daun sirsak dengan konsentrasi 8% terbukti optimal untuk memberikan perlindungan maksimal terhadap serangan rayap.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan izin-Nya penelitian ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penelitian ini, khususnya kepada dosen pembimbing. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moral sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adlin, I. A., Rusmana, E. W., Fathona, S., Kimia, P. T., Teknik, F., Pamulang, U., & Selatan, T. (2019). Pengaruh konsentrat asam klorida, komposisi yeast dan waktu fermentasi dalam pembuatan bioetanol dari air leri. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 3(2), 79–86.
- Afrozi, A. S., & Azzami, I. (2019). Pemanfaatan bulu ayam sebagai bahan absorben untuk penjernihan limbah tekstil. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 3(2), 74–79.
- Ardiansyah, M., Hendrawan, Y., & Sumarlan, S. H. (2018). Pemodelan dan optimasi proses biofiksasi karbondioksida pada biogas menggunakan Java moss (*Taxiphyllum barbieri*) dengan response surface methodology. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 6(1), 1–8.
- Badan Standardisasi Nasional (2006). Uji ketahanan kertas dan produk kayu terhadap organisme perusak kayu (SNI 01.7207-2006). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bobet, O., Nassio, S., Seynou, M., Remy, B., Zerbo, L., Sanou, I., Sawadogo, M., Millogo, Y., & Gilles, E. (2020). Characterization of peanut shells for their valorization in earth brick. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 8(1), 301–331.
- Chilakamarry, C. R., Mahmood, S., Saffe, S. N. B. M., Arifin, M. A. B., Gupta, A., Sikkandar, M. Y., ... & Narasaiah, B. (2021). Extraction and application of keratin from natural resources: a review. *3 Biotech*, 11, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02734-7>
- Dewi, I. A., Ihwah, A., Setyawan, H. Y., Kurniasari, A. A. N., & Ulfah, A. (2021). Optimasi proses delignifikasi pelepah pisang untuk bahan baku pembuatan kertas seni. *Sebatik*, 25(2), 447–454.
- Fahrudin, F., Dasumiati, Angraini, I., & Hamida, F. (2025). Potensi kulit buah jengkol sebagai bioinsektisida terhadap rayap (Isoptera: Rhinotermitidae) menggunakan metode baiting. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 18(2), 468–477.
- Fakhruzzy, Kasim, A., & Asben, A. (2020). Optimalisasi metode maserasi untuk ekstraksi tanin rendemen tinggi. *Jurnal Menara Ilmu*, 14(2), 38–42.
- Fitriyanto, N. A., Ramadhanti, Y., Rusyadi, I., Pertiwinigrum, A., Prasetyo, R. A., & Erwanto, Y. (2022). Production of poultry feather hydrolysate using HCl and NaOH as a growth medium substrate for indigenous strains. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 951, No. 1, p. 012064). IOP Publishing.
- Hasmila, I., Natsir, H., & Soekamto, N. H. (2019, October). Phytochemical analysis and antioxidant activity of soursop leaf extract (*Annona muricata* Linn.). In *Journal of physics: conference series* (Vol. 1341, No. 3, p. 032027). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/3/032027>
- Hulyadi, & Fibonacci, A. (2018). Uji aktivitas antimikroba daun sirsak (*Annona muricata* L.) terhadap *Bacillus subtilis* dan *Escherichia coli*. *Walisongo Journal of Chemistry*, 1(1), 14–17.
- Ismanto, A., Moerfiah, Supriadi, A., & Zulfikar, M. N. (2020). Efektivitas konsentrasi ekstrak biji sirsak gunung (*Annona montana* Macf.) terhadap mortalitas rayap tanah (*Coptotermes curvignathus* Holmgren, Rhinotermitidae). *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 10(1), 19–24.
- Luth, F. (2020). Pengaruh zat ekstraktif beberapa tumbuhan terhadap mortalitas rayap tanah (*Coptotermes curvignathus* H.). *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 17(1), 8–17.
- Mandagi, P. T., Pinaria, A. G., Franky, W., Paat, F. J., Kaligis, J. B., & Pakasi, S. E. (2023). Pengendalian hama rayap subteran *Coptotermes* sp. (Blattodea: Rhinotermitidae) menggunakan asap cair berbahan tempurung kelapa. *Jurnal Agroteknologi Terapan*, 4(2), 370–381.
- Muryeti, M., & Budimulyani, E. (2024). Chitin and chitosans: Characteristics, eco-friendly processes, and applications in cosmetic science. *AIP Conference Proceedings*, 2972(1), Article 020040.
- Mutakin, M., Fauziati, R., Fadhilah, F. N., Zuhrotun, A., Amalia, R., & Hadisaputri, Y. E. (2022). Pharmacological activities of soursop (*Annona muricata* Lin.). *Molecules*, 27(4), 1201. <https://doi.org/10.3390/molecules27041201>
- Paranrengi, A., Muin, M., & Arif, A. (2018). Mortalitas rayap *Coptotermes* sp. dengan umpan dari bahan limbah organik. *Jurnal UNHAS*, 1(1), 1–7.
- Putria, A. Y., Yama, D. I., & Delyani, R. (2024). Uji efektivitas ekstrak daun serai dapur (*Cymbopogon citratus*) untuk mengendalikan hama rayap tanah (*Coptotermes curvignathus* H.) dengan metode umpan secara in vitro. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 12(3), 383–394.
- Querner, P., Beenk, J., & Linke, R. (2022). The analysis of red lead endsheets in rare books from the Fung Ping Shan Library at the University of Hong Kong. *Heritage*, 5(3), 2408–2421. <https://doi.org/10.3390/heritage5030125>
- Rahmawati, A., Nasir, B., & Rosmini. (2019). Pengaruh berbagai konsentrasi ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L.) dalam mengendalikan Spodoptera exigua Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) pada tanaman bawang merah. *Jurnal Agrotekbis*, 7(4), 415–423.
- Trimayanto, S., Mayasari, P. I. K., Novianti, F. D., & Novia, D. (2019). Combination of corncob, cornhusk, and kirinyuh (*Eupatorium odoratum* L.) leaf extract as materials of anti-termite paper. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2019, 23–25.
- Widjanarko, A. M., Maulana, I. A., & Narendra, H. H. (2022). Anti-termite paper from peanut shell waste with the addition of lemongrass extract. *Jurnal Integrasi Sains dan Qur'an*, 1(2), 1–6.