BATOBO
Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat

BATOBO: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat
E-ISSN : 2987-5129
Volume 04 | Nomor 01 | Tahun 2026

Pemanfaatan Limbah Organik menjadi Insektisida Ramah Lingkungan melalui Teknologi Pembakaran Bebas Asap di Desa Sumber Sari, Kab. Kampar

Erman Taer[1*], Muhammad Nasir[2], Minarni[1], Erwin[1], Awaludin Martin[3], Julnaidi[4], Rika[5], Vira Friska[1], Apriwandi[1]
[1] *Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau*
[2] *Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Riau*
[3] *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau*
[4] *Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru*
[5] *Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*
erman.taer@lecturer.unri.ac.id*

Abstrak

Desa Sumber Sari, Kabupaten Kampar, merupakan salah satu wilayah pertanian yang masih menghadapi permasalahan berupa serangan hama tanaman, ketergantungan petani terhadap insektisida kimia, serta belum optimalnya pemanfaatan limbah organik dari aktivitas pertanian dan rumah tangga. Kondisi ini mendorong perlunya alternatif teknologi sederhana berbasis sumber daya lokal yang ramah lingkungan, murah, dan mudah diterapkan oleh masyarakat. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi pembakaran sampah bebas asap dalam mengkonversi limbah organik menjadi insektisida alami di Desa Sumber Sari, Kecamatan Tapung Hulu, Kabupaten Kampar. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatif-terapan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan alat sederhana berbasis prinsip pirolisis, pelatihan produksi asap cair, serta pendampingan aplikasi di lahan pertanian. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa proses pembakaran terkendali mampu menghasilkan cairan kondensat dengan karakteristik menyerupai *wood vinegar*, yang mengandung senyawa asam organik dan fenolik dengan potensi insektisida. Variasi frekuensi pembakaran mempengaruhi kualitas produk, di mana kondisi optimum diperoleh pada pH 4–5 yang sesuai untuk aplikasi pertanian setelah pengenceran. Selain menghasilkan produk fungsional, kegiatan ini juga meningkatkan kapasitas teknis petani dalam mengelola limbah biomassa secara mandiri. Implementasi teknologi ini berkontribusi terhadap pengurangan limbah, penurunan emisi dari pembakaran terbuka, serta penguatan praktik pertanian berkelanjutan di tingkat lokal.

Kata Kunci:
asap cair, insektisida organik, limbah biomassa, pembakaran bebas asap, Sumber Sari.

1. Pendahuluan

Sektor pertanian tetap menjadi tulang punggung perekonomian pedesaan di Indonesia, khususnya dalam mendukung ketahanan pangan dan sumber penghidupan

masyarakat. Namun, keberlanjutan produksi pertanian menghadapi tantangan serius, salah satunya adalah tekanan organisme pengganggu tanaman yang semakin kompleks. Pada komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi seperti cabai, serangan hama seperti thrips (*Thrips parvispinus*), kutu daun (*Aphis gossypii*), dan lalat buah (*Bactrocera spp.*) dapat menyebabkan penurunan hasil yang signifikan, bahkan hingga puluhan persen jika tidak ditangani secara tepat [1], [2]. Kondisi ini diperparah oleh pola pengendalian yang masih didominasi pendekatan instan berbasis bahan kimia sintetis.

Penggunaan insektisida kimia memang memberikan efek cepat dalam menekan populasi hama, tetapi dalam jangka panjang menimbulkan konsekuensi ekologis dan kesehatan yang tidak dapat diabaikan [3]. Berbagai studi menunjukkan bahwa aplikasi insektisida secara berulang dapat memicu resistensi hama, mengganggu keseimbangan ekosistem agro, serta meninggalkan residu berbahaya pada produk pertanian [4], [5]. Selain itu, ketergantungan terhadap produk berbasis kimia juga meningkatkan biaya produksi dan mengurangi kemandirian petani, terutama di wilayah pedesaan yang memiliki keterbatasan akses terhadap input pertanian berkualitas [6].

Sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan, pendekatan alternatif berbasis sumber daya lokal mulai mendapatkan perhatian, salah satunya melalui pemanfaatan limbah organik. Limbah pertanian dan biomassa rumah tangga yang melimpah di pedesaan memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi produk bernilai tambah, termasuk sebagai bahan dasar insektisida organik. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian menunjukkan bahwa produk turunan biomassa seperti asap cair (*liquid smoke*) dan biochar mengandung senyawa aktif seperti fenol, asam organik, dan karbon aromatik yang memiliki sifat antimikroba dan insektisidal [7], [8]. Namun demikian, pemanfaatan teknologi ini di tingkat petani masih sangat terbatas, terutama karena kendala teknis, kurangnya pendampingan, serta minimnya teknologi yang ramah pengguna.

Teknologi pembakaran bebas asap muncul sebagai solusi inovatif yang mampu menjembatani kebutuhan tersebut. Berbeda dengan metode pembakaran konvensional, teknologi ini dirancang untuk mengoptimalkan proses pirolisis biomassa sehingga menghasilkan produk samping seperti endapan asap cair secara lebih efisien, sekaligus meminimalkan emisi polutan ke lingkungan [9]. Keunggulan lainnya adalah desain alat yang relatif sederhana, sehingga berpotensi diadopsi oleh masyarakat pedesaan dengan biaya yang terjangkau. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih jarang dikaitkan secara langsung dengan produksi insektisida organik berbasis limbah lokal dalam konteks pengabdian masyarakat.

Desa Sumber Sari, Kabupaten Kampar, merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas pertanian yang cukup intensif, namun masih menghadapi permasalahan klasik berupa serangan hama dan ketergantungan pada insektisida kimia. Di sisi lain, ketersediaan limbah organik dari aktivitas pertanian dan rumah tangga belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini membuka peluang untuk mengintegrasikan teknologi pembakaran bebas asap sebagai sarana produksi insektisida organik yang murah, ramah lingkungan, dan berbasis potensi lokal.

Berdasarkan uraian diatas, kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk mengim-plementasikan teknologi pembakaran bebas asap dalam pemanfaatan limbah organik menjadi insektisida ramah lingkungan, sekaligus meningkatkan kapasitas petani dalam

mengelola sumber daya lokal secara mandiri. Adapun pilot projek pengabdian ini difokuskan pada satuan pendidikan SMPN Negeri 1 Tapung Hulu, sebagai tempat peletakan alat/teknologi, pembelajaran dan sosialisasi. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi teknis terhadap permasalahan hama, tetapi juga mendorong transformasi praktik pertanian menuju sistem yang lebih berkelanjutan dan ekonomis.

2. Metode Kegiatan

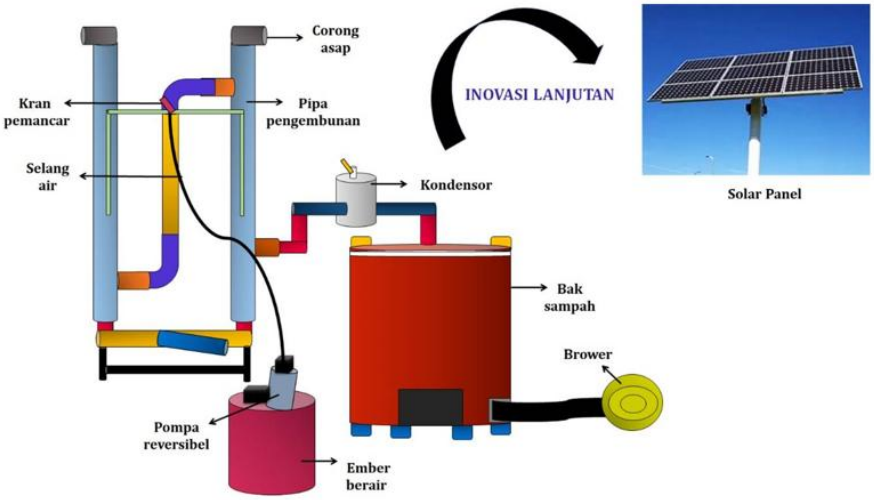
Kegiatan pengabdian ini dirancang menggunakan pendekatan partisipatif-terapan yang mengintegrasikan transfer teknologi dengan praktik langsung di lapangan. Pelaksanaan kegiatan dilakukan di Desa Sumber Sari, Kabupaten Kampar, dengan melibatkan kelompok tani sebagai mitra utama serta satuan pendidikan SMP N 1 Tapung Hulu sebagai pilot projek. Metode yang digunakan tidak hanya berfokus pada penyampaian informasi, tetapi juga pada pembentukan keterampilan teknis melalui proses belajar berbasis pengalaman (*experiential learning*). Secara umum, alur kegiatan dimulai dari tahap identifikasi kondisi awal melalui observasi lapangan dan diskusi terarah. Pada tahap ini dilakukan pemetaan potensi limbah organik, identifikasi jenis hama dominan, serta evaluasi praktik pengendalian yang telah diterapkan. Data ini menjadi dasar dalam merancang pendekatan teknologi yang sesuai dengan kondisi lokal.

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan demonstrasi alat pembakaran bebas asap berbasis prinsip pirolisis sederhana. Alat dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan operasional dan ketersediaan bahan lokal. Limbah biomassa seperti sekam padi, ranting, dan residu pertanian dimanfaatkan sebagai bahan baku utama. Proses pembakaran dilakukan dalam kondisi terbatas oksigen untuk menghasilkan uap volatil yang kemudian dikondensasikan menjadi asap cair.

Peserta kegiatan dilibatkan secara aktif dalam setiap tahapan produksi, mulai dari persiapan bahan, pengoperasian alat, hingga pengumpulan hasil kondensasi. Asap cair yang diperoleh kemudian disaring secara sederhana sebelum diaplikasikan sebagai insektisida alami. Pada tahap ini juga diberikan penjelasan mengenai teknik aplikasi, konsentrasi penggunaan, serta waktu penyemprotan yang efektif.

Selanjutnya, dilakukan tahap implementasi dan pendampingan. Peserta menerapkan langsung produk yang dihasilkan pada lahan pertanian, dengan pendampingan untuk memastikan proses berjalan dengan benar. Evaluasi dilakukan secara kualitatif melalui pengamatan terhadap respon tanaman dan intensitas serangan hama setelah aplikasi.

Tahap akhir berupa refleksi dan penguatan kapasitas, di mana dilakukan diskusi hasil kegiatan serta penyusunan panduan teknis sederhana berbasis praktik lapangan. Dengan pendekatan ini, diharapkan teknologi yang diperkenalkan tidak hanya dipahami, tetapi juga dapat diadopsi secara berkelanjutan oleh masyarakat. Secara umum, desain skematik sistem pembakar sampah bebas asap dan unit kondensasi asap cair ditampilkan pada Gambar 1. Desain ini digunakan sebagai acuan pengembangan alat sederhana yang kemudian didemonstrasikan kepada mitra pada kegiatan lapangan.



Gambar 1. Desain skematik sistem pembakar sampah bebas asap dan unit kondensasi asap cair

3. Hasil dan Pembahasan

Kegiatan pengabdian ini menghasilkan luaran utama berupa prototipe pemanfaatan limbah organik menjadi insektisida cair melalui teknologi pembakaran bebas asap, serta peningkatan kapasitas teknis mitra dalam mengoperasikan teknologi tersebut secara mandiri. Berbeda dengan pendekatan pengabdian yang bersifat demonstratif semata, kegiatan ini menekankan pada integrasi antara proses produksi, pemahaman sifat kimia produk, serta implementasi langsung pada sistem pertanian lokal.



Gambar 2. a) tahap awal pengumpulan residu biomassa, b) tahap pembakaran pada tungku, c) lahan pertanian difokuskan pada lahan cabe, d) dan e) dokumentasi peninjauan lokasi penggunaan insektisida

Gambar 2 menunjukkan beberapa dokumentasi kegiatan pengabdian yang telah dilakukan. Gambar 2a menunjukkan dokumentasi pengumpulan residu biomassa yang ada disekitar desa Sumber Sari. Gambar 2b menunjukkan dokumentasi pembakaran sampah biomassa yang telah dikumpulkan pada tungku pembakar. Gambar 2c menampilkan lahan pertanian yang difokuskan pada lahan pembibitan cabe merah. Sementara itu, Gambar 2d dan Gambar 2e menunjukkan dokumentasi peninjauan tim pengabdian ke lahan pertanian yang difokuskan.

3.1. Produksi Cairan Insektisida melalui Pembakaran Bebas Asap

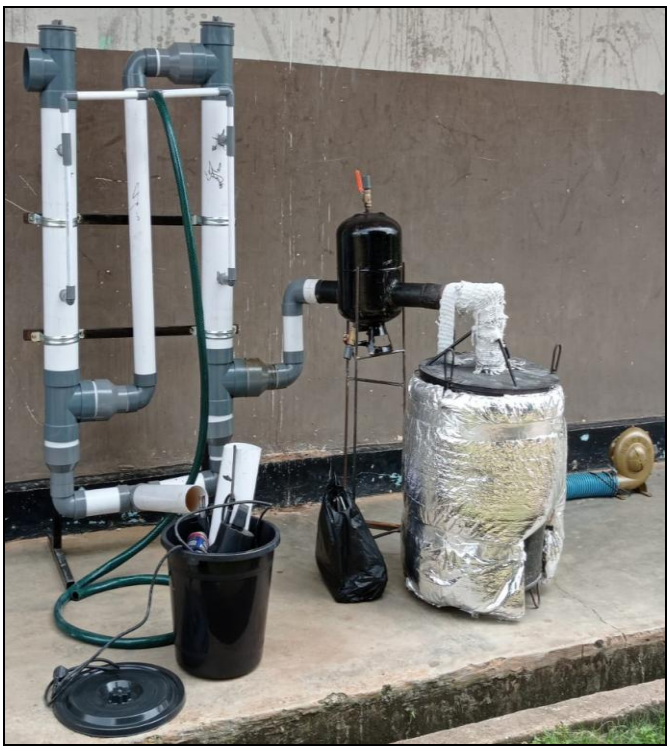
Proses pembakaran biomassa dilakukan menggunakan prinsip *controlled combustion* dengan suplai oksigen terbatas, yang secara termodinamika mendekati kondisi pirolisis parsial. Dalam kondisi ini, dekomposisi termal biomassa menghasilkan tiga fraksi utama, yaitu gas volatil, cairan kondensat (asap cair), dan residu padat (arang/biochar) [10]. Fokus kegiatan ini adalah pada fraksi cair yang diperoleh melalui proses kondensasi uap hasil degradasi lignoselulosa.



Gambar 3. Hasil pembakaran berupa cairan yang digunakan sebagai bahan insektisida

Secara visual (Gambar 3), cairan hasil kondensasi menunjukkan warna coklat hingga coklat kehitaman dengan aroma khas senyawa tar biomassa. Karakteristik ini konsisten dengan produk yang dikenal sebagai *pyroligneous acid* atau *wood vinegar*, yang secara luas dilaporkan mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti asam asetat, fenol, aldehida, dan keton [11], [12]. Senyawa-senyawa tersebut terbentuk dari dekomposisi komponen utama biomassa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada rentang suhu 200–500 °C.

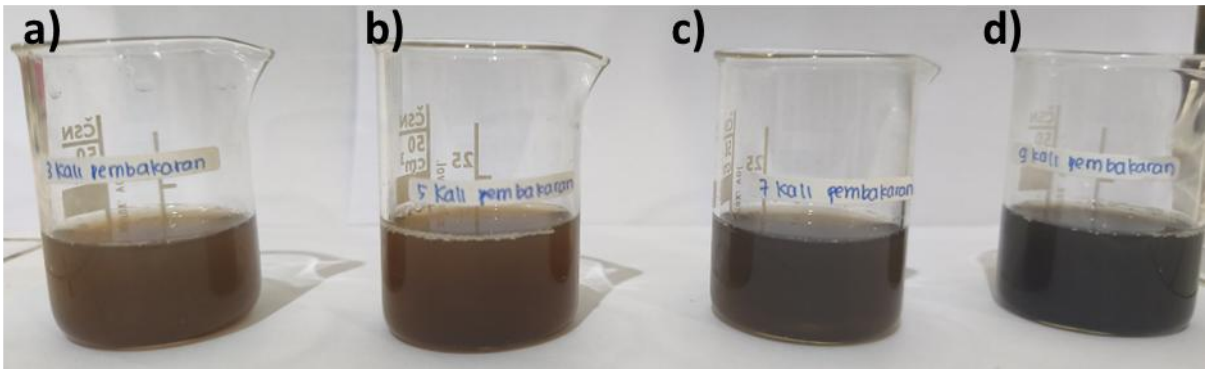
Dalam implementasi di lapangan, proses pembakaran dilakukan secara berulang (*multi-cycle combustion*) untuk meningkatkan kualitas kondensat. Hasilnya, diperoleh sejumlah botol insektisida cair yang siap digunakan dalam uji aplikasi terbatas. Secara praktis, keberhasilan produksi ini menunjukkan bahwa teknologi pembakaran bebas asap tidak hanya berfungsi sebagai metode pengelolaan limbah, tetapi juga sebagai sistem konversi energi-biomassa menjadi produk bernilai tambah. Secara umum alat yang dikembangkan ditamilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dokumentasi prototipe alat pembakar sampah bebas asap dan unit kondensasi yang digunakan pada kegiatan lapangan

3.2. Karakteristik Kimia dan Potensi Insektisida Cair

Analisis awal terhadap cairan hasil pembakaran menunjukkan bahwa parameter pH menjadi indikator penting dalam menentukan kualitas dan potensi aplikatif produk. Hasil pengukuran (lihat Gambar 5) menunjukkan tren penurunan pH seiring dengan meningkatnya frekuensi pembakaran ulang. Pada frekuensi rendah (3 kali pembakaran), pH berada pada kisaran mendekati netral (~6), sedangkan pada frekuensi tinggi (hingga 9 kali), pH turun hingga sekitar 3.



Gambar 5. Perbedaan warna cairan asap berdasarkan frekuensi pembakaran, a) 3 kali pembakaran, b) 5 kali pembakaran, c) 7 kali pembakaran, dan d) 9 kali pembakaran

Penurunan pH ini mengindikasikan peningkatan konsentrasi asam organik, khususnya asam asetat, yang merupakan komponen dominan dalam asap cair [13], [14]. Selain itu,

peningkatan frekuensi pembakaran juga berkontribusi terhadap pemurnian produk melalui reduksi kandungan tar dan senyawa berat lainnya. Hal ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa proses kondensasi bertingkat dapat meningkatkan fraksi senyawa ringan yang bersifat bioaktif [15], [16].

Dari sisi fungsional, senyawa fenolik dalam asap cair diketahui memiliki aktivitas insektisida dan antimikroba melalui mekanisme denaturasi protein dan gangguan sistem enzimatik organisme target. Sementara itu, asam organik berperan dalam menurunkan pH lingkungan mikro pada permukaan tanaman, sehingga menghambat perkembangan hama dan patogen [17]. Dengan demikian, kombinasi senyawa ini memberikan efek sinergis sebagai agen pengendali hayati.

Klasifikasi kualitas asap cair berdasarkan pH yang diperoleh dalam kegiatan ini menunjukkan kesesuaian dengan standar umum yang digunakan dalam literatur, di mana pH 2–4 dikategorikan sebagai kualitas tinggi (grade 1–2) yang layak untuk aplikasi pertanian [18]. Hal ini mengindikasikan bahwa metode yang digunakan mampu menghasilkan produk dengan kualitas kompetitif meskipun menggunakan teknologi sederhana berbasis masyarakat..

3.3. Pengaruh Frekuensi Pembakaran terhadap Kualitas Produk

Variasi frekuensi pembakaran memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia cairan yang dihasilkan. Perubahan warna dari coklat muda ke hitam pekat mencerminkan peningkatan konsentrasi senyawa aromatik dan karbonil. Namun demikian, warna yang terlalu gelap juga dapat mengindikasikan keberadaan fraksi tar yang belum sepenuhnya terpisah.

Tabel 1. Analisis uji pH cairan asap hasil pembakaran alat bebas asap berbasis panel surya

Frekuensi Pembakaran	pH	Kandungan Asam Organik	Kandungan Fenol & Karbonil	Kualitas & Penggunaan
3 Kali	6	Rendah-Sedang	Sedang, mungkin masih banyak tar.	Cocok untuk fungisida ringan atau bahan tambahan pupuk.
5 Kali	5	Sedang	Sedang-Tinggi, tar berkurang.	Efektif sebagai pestisida dan fungisida tanaman.
7 Kali	4	Tinggi	Tinggi, tar sangat sedikit.	Sangat efektif sebagai pestisida spektrum luas, dapat digunakan murni atau diencerkan.
9 Kali	3	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi, murni (Grade 1).	Konsentrat tinggi, ideal untuk bahan baku industri atau pestisida dosis tinggi, perlu pengenceran.

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa frekuensi pembakaran optimum berada pada kisaran 5–7 kali, di mana diperoleh keseimbangan antara kandungan senyawa aktif dan

tingkat kemurnian produk. Pada kondisi ini, pH berada pada kisaran 4–5 yang relatif aman untuk aplikasi langsung pada tanaman setelah pengenceran. Sementara itu, pada frekuensi tinggi (9 kali), meskipun diperoleh pH rendah (~3) dan konsentrasi tinggi, produk memerlukan perlakuan tambahan seperti pengenceran untuk menghindari fitotoksisitas.
Temuan ini menunjukkan bahwa kontrol proses menjadi faktor kunci dalam menghasilkan produk yang tidak hanya efektif, tetapi juga aman bagi tanaman. Hal ini menjadi poin penting dalam konteks pengabdian, karena teknologi yang diperkenalkan harus mempertimbangkan aspek kemudahan dan keamanan penggunaan oleh masyarakat.

Karakteristik Senyawa pada Setiap Tingkat pH
1. Asap Cair pH 3 (9x Pembakaran Ulang)
Ini adalah asap cair Grade 1 (paling murni dan terkonsentrasi).
- Asam Organik (Asam Asetat): Kandungan sangat tinggi. pH yang sangat rendah ini didominasi oleh konsentrasi asam asetat yang tinggi, yang memberikan sifat antimikroba kuat.
- Fenol & Karbonil: Kandungan tinggi. Proses pembakaran ulang berulang kali telah memisahkan sebagian besar tar, menyisakan senyawa bioaktif fenolik dan karbonil murni dalam konsentrasi tinggi.
- Tar & Benzopirena: Kandungan sangat rendah (hampir tidak ada).

2. Asap Cair pH 4 (7x Pembakaran Ulang)
Ini adalah asap cair Grade 2, kualitas sangat baik dan sering direkomendasikan untuk aplikasi pertanian.
- Asam Organik (Asam Asetat): Kandungan tinggi, sedikit lebih rendah dari pH 3.
- Fenol & Karbonil: Kandungan tinggi. Sangat efektif sebagai insektisida dan fungisida.
- Tar & Benzopirena: Kandungan rendah.

3. Asap Cair pH 5 (5x Pembakaran Ulang)
Ini adalah asap cair Grade 3 (asap cair mentah yang telah melewati penyaringan dasar).
- Asam Organik (Asam Asetat): Kandungan sedang. Keasaman cukup untuk mengganggu patogen.
- Fenol & Karbonil: Kandungan sedang hingga tinggi. Masih efektif untuk pengendalian hama harian.
- Tar & Benzopirena: Kandungan sedang, mungkin masih terlihat keruh.

4. Asap Cair pH 6 (3x Pembakaran Ulang)
pH 6 mendekati netral, menunjukkan ini mungkin asap cair yang paling mentah dari sampel Anda, atau mungkin bahan bakunya berbeda.
- Asam Organik (Asam Asetat): Kandungan rendah hingga sedang.
- Fenol & Karbonil: Kandungan sedang. Efektivitas pestisida lebih rendah dibandingkan pH 4 atau 3.
- Tar & Benzopirena: Kandungan mungkin masih signifikan. Perlu kehati-hatian dalam aplikasi langsung ke tanaman sensitif.

Selain menghasilkan produk insektisida, teknologi pembakaran bebas asap juga memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Praktik pembakaran terbuka (*open burning*) yang umum dilakukan di pedesaan diketahui menjadi salah satu sumber utama

emisi partikulat dan gas berbahaya seperti CO dan Nox [19]. Dengan menggunakan sistem pembakaran terkendali, emisi dapat ditekan sekaligus dimanfaatkan dalam bentuk produk kondensat. Lebih lanjut, pendekatan ini mendukung konsep ekonomi sirkular (*circular economy*), di mana limbah tidak lagi dipandang sebagai residu, melainkan sebagai sumber daya yang dapat dikonversi menjadi produk bernilai tambah. Dalam konteks Desa Sumber Sari, hal ini berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap input eksternal sekaligus meningkatkan efisiensi sistem pertanian lokal.

Dari aspek sosial, kegiatan ini menunjukkan bahwa transfer teknologi yang dikombinasikan dengan praktik langsung mampu meningkatkan pemahaman dan keterampilan petani secara signifikan. Mitra tidak hanya memahami konsep dasar produksi insektisida organik, tetapi juga mampu mengoperasikan alat dan mengontrol parameter proses secara mandiri. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa teknologi pembakaran bebas asap memiliki tingkat adopsi yang tinggi apabila disesuaikan dengan kondisi lokal. Dengan demikian, pendekatan yang digunakan dalam kegiatan ini dapat direplikasi pada wilayah lain dengan karakteristik serupa, terutama di daerah dengan ketersediaan limbah biomassa yang melimpah.

4. Kesimpulan

Kegiatan pengabdian ini berhasil mengimplementasikan teknologi pembakaran bebas asap sebagai solusi terapan dalam pemanfaatan limbah organik menjadi insektisida ramah lingkungan di Desa Sumber Sari, Kabupaten Kampar. Proses konversi biomassa melalui pembakaran terkendali menghasilkan cairan kondensat yang secara karakteristik menyerupai asap cair (*wood vinegar*), dengan kandungan senyawa aktif seperti asam organik dan fenolik yang berpotensi sebagai agen pengendali hama. Variasi frekuensi pembakaran menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kualitas produk, terutama pada parameter pH dan kemurnian senyawa, di mana frekuensi optimal berada pada kisaran menengah (5–7 siklus) untuk aplikasi pertanian. Selain menghasilkan produk insektisida, kegiatan ini juga memberikan dampak positif terhadap peningkatan kapasitas teknis masyarakat dalam mengelola limbah biomassa secara mandiri dan berkelanjutan. Pendekatan partisipatif yang diterapkan memungkinkan terjadinya transfer pengetahuan yang efektif serta mendorong adopsi teknologi oleh mitra. Secara lingkungan, teknologi ini berkontribusi dalam mengurangi praktik pembakaran terbuka yang berpotensi mencemari udara. Dengan demikian, integrasi teknologi sederhana berbasis sumber daya lokal ini tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan hama, tetapi juga memperkuat kemandirian dan keberlanjutan sistem pertanian masyarakat pedesaan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau atas dukungan pendanaan melalui skema Program Desa Binaan Tahun Anggaran 2025 yang bersumber dari Dana DIPA. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pemerintah Desa Sumber Sari atas partisipasi aktif dan kerja sama yang baik selama pelaksanaan kegiatan pengabdian ini. Dukungan dan keterlibatan semua pihak sangat berkontribusi terhadap keberhasilan program yang telah dilaksanakan.

Referensi

[1] K. Novita Sari *et al.*, “Identifikasi Serangga Hama pada Tanaman Cabe di Organ Ilir Sumatra Selatan Identification of Insect Pests on Chili in Ogan Ilir South Sumatera,” *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal ke-10*, vol. 6051, pp. 824–831, 2022.

[2] D. B. Cahyono, H. Ahmad, and A. R. Tolangara, “Hama pada Cabai Merah,” *Techno J. Penelit.*, vol. 6, no. 02, p. 18, 2018, doi: 10.33387/tk.v6i02.565.

[3] E. Suryaningsih and A. Hadisoeganda, “Pengendalian Hama Dan Penyakit Penting Cabai Dengan Pestisida Biorasional,” *J. Hortik.*, vol. 17, no. 3, pp. 261–269, 2007.

[4] B. S. E., E. H. Iswanto, and D. Munawar, “Resistensi Wereng Cokelat terhadap Insektisida yang Beredar di Sentra Produksi Padi,” *J. Penelit. Pertan. Tanam. Pangan*, vol. 35, no. 2, p. 99, 2016, doi: 10.21082/jpptp.v35n2.2016.p99-108.

[5] K. Sinyong, N. Mubin, and D. Prijono, “Tingkat resistensi insektisida emamektin benzoat terhadap ulat krop Crocidolomia pavonana (F.)(Lepidoptera: Crambidae) di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat: Resistance level of emamectin benzoate insecticide to Crocidolomia pavonana (F.)(Lepidoptera: Crambidae) in Cianjur Regency, West Java.,” *J. Entomol. Indones.*, vol. 20, no. 3, pp. 247–247, 2023.

[6] E. R. M. Meray *et al.*, “Diseminasi Resistensi Hama Akibat Penggunaan Insektisida pada Kelompok Tani Sehati di Kelurahan Kakaskasen II Kota Tomohon Dissemination of Pest Resistance to Insecticides in the Sehati Farmer Group in Kakaskasen II Village, Tomohon City,” *J. Pengabdi. Masy.*, vol. 2, no. 3, pp. 133–138, 2024.

[7] A. Martin, B. Suryawan, M. I. Alhamid, and , N., “Adsorpsi Isotermal CO2 Bertekanan Tinggi Pada Karbon Aktif Dengan Metoda Volumetrik,” *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 14, no. 2, pp. 128–132, 2011, doi: 10.7454/mst.v14i2.705.

[8] E. Taer, R. Farma, and M. Nasir, “Perkembangan Teknologi Pengelolaan Sampah Bebas Asap,” Hak Cipta, Nomor Permohonan EC002023126296, 2023

[9] D. Irawan and Z. Arifin, “Pemanfaatan Sampah Organik Kota Samarinda Menjadi Bioetanol : Klasifikasi Dan Potensi,” *Semin. Rekayasa Kim. dan Proses 2010*, pp. 1–6, 2010.

[10] C. Saka, “BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl2,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 95, pp. 21–24, 2012, doi: 10.1016/j.jaap.2011.12.020.

[11] S. Mathew and Z. A. Zakaria, “Pyroligneous acid—the smoky acidic liquid from plant biomass,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 99, no. 2, pp. 611–622, 2015, doi: 10.1007/s00253-014-6242-1.

[12] J. L. Aguirre *et al.*, “Composition, ageing and herbicidal properties of wood vinegar obtained through fast biomass pyrolysis,” *Energies*, vol. 13, no. 10, 2020, doi: 10.3390/en13102418.

[13] T. Yudianto, Tamrin, and Hermanto, “Identifikasi Mutu Asap Cair Berbahan Baku Kayu Pohon Aren (Arrenga Pinnata),” *JRP J. Ris. Pangan*, vol. 2, no. 3, pp. 273–280, 2024.

[14] N. Adi Saputra, S. Komarayati, and , Gusmailina Gusmailina, “Komponen Kimia Organik Lima Jenis Asap Cair,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 39, no. 1, pp. 39–54, 2021, doi: 10.20886/jphh.2021.39.1.39-54.

[15] S. Chai *et al.*, “Fractional condensation of bio-oil vapors from pyrolysis of various sawdust wastes in a bench-scale bubbling fluidized bed reactor,” *Chemosphere*, vol. 350, no. September 2023, p. 141121, 2024, doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.141121.
[16] A. Mati *et al.*, “Fractional Condensation of Fast Pyrolysis Bio-Oil to Improve Biocrude Quality towards Alternative Fuels Production,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10, 2022, doi: 10.3390/app12104822.
[17] H. A. Oramahi and T. Yoshimura, “Antifungal and antitermitic activities of wood vinegar from Vitex pubescens Vahl,” *J. Wood Sci.*, vol. 59, no. 4, pp. 344–350, 2013, doi: 10.1007/s10086-013-1340-8.
[18] R. Anggraini, J. Khabibi, and M. R. Ridho, “Utilization of Wood Vinegar as a Natural Preservative for Sengon Wood (Falcataria moluccana Miq.) against Fungal Attack (Schizophyllum commune Fries),” *J. Sylva Lestari*, vol. 11, no. 1, pp. 79–97, 2023, [Online]. Available: https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.734
[19] A. Utami and C.-H. Chang, “Emisi Pencemaran Udara Dari Biomass Open Burning Pada Lahan Gambut Di Indonesia Menggunakan Data Gis Dan Citra Modis,” *J. Sains &Teknologi Lingkung.*, vol. 8, no. 1, pp. 01–09, 2016, doi: 10.20885/jstl.vol8.iss1.art1.