

**RANCANG BANGUN RANGKA DAN PENUTUP REAKTOR PEMBAKARAN
KEDUA PADA PIROLISIS LIMBAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* TERHADAP
BAHAN BAKAR YANG DIHASILKAN**

**AMARDYAN IRGI HAFIDZ RAFF SANJANI¹, DEFAYYADH CAESARIO
HIBATULLAH², JOKO SETIYONO³, NUR ROHMAT⁴**

Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

Email: amardyanirgi@gmail.com¹

Abstract *The accumulation of Polypropylene (PP) plastic waste has caused serious pollution that is difficult to mitigate using conventional methods. This study aimed to integrate the mechanical design of a pyrolysis system—specifically reinforcing the table frame and designing a secondary combustion cover—and to analyze how different combustion systems (open vs. closed) affect the characteristics of liquid fuel derived from 2 kg of polypropylene waste. Structural evaluation was conducted using SolidWorks simulations, while oil quality testing adhered to ASTM standards. Structural analysis results indicated that a 40 x 40 x 2 mm hollow steel frame could safely support a load of 103.04 kg (1,010.82 N) with a Factor of Safety (FOS) of 5.028. The redesigned 38 cm diameter combustion cover successfully minimized heat leakage, achieving an FOS of 1.268. Fuel testing revealed that the open combustion system yielded superior oil compared to the closed system, with Cetane Numbers of 31.5 versus 27.0, specific gravities of 780.9 kg/m³ versus 766.8 kg/m³, and kinematic viscosities of 1.465 mm²/s versus 0.975 mm²/s. Uniform heat circulation and airflow control proved crucial for breaking down carbon chains to produce stable liquid fuel.*

Keywords: *pyrolysis, polypropylene, plastic waste, frame, combustion cover, SolidWorks Simulation, Factor of Safety.*

Abstrak Pertumbuhan limbah plastik *Polypropylene* (PP) memicu pencemaran serius yang sulit diatasi dengan metode konvensional. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan rancang bangun mekanis sistem pirolisis—meliputi penguatan rangka meja dan perancangan penutup pembakaran tahap kedua—serta menganalisis pengaruh variasi sistem pembakaran (terbuka dan tertutup) terhadap karakteristik bahan bakar cair dari 2 kg limbah polypropilena. Evaluasi struktural dilakukan dengan simulasi SolidWorks, sedangkan pengujian kualitas minyak mengacu pada standar ASTM. Hasil analisis struktural menunjukkan rangka besi *hollow* 40 x 40 x 2 mm aman menahan beban 103,04 kg (1.010,82 N) dengan *Factor of Safety* (FOS) 5,028. Redesain penutup pembakaran berdiameter 38 cm berhasil meminimalkan kebocoran panas dengan FOS 1,268. Pengujian bahan bakar menunjukkan sistem pembakaran terbuka menghasilkan minyak yang lebih unggul dibanding pembakaran tertutup, dengan Angka Setana 31,5 dan 27,0, Berat Jenis 780,9 kg/m³ dan 766,8 kg/m³, dan Viskositas Kinetik 1,465 mm²/s dan 0,975 mm²/s. Sirkulasi panas dan kontrol aliran udara yang merata terbukti krusial dalam pemecahan rantai karbon untuk menghasilkan bahan bakar cair yang stabil.

Kata kunci: pirolisis, polypropylene, limbah plastik, rangka, penutup pembakaran, SolidWorks Simulation, Factor of Safety.

A. Pendahuluan

Permasalahan limbah plastik masih menjadi salah satu persoalan lingkungan yang membutuhkan penanganan secara berkelanjutan. Plastik polypropylene (PP) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam berbagai produk sehari-hari karena memiliki sifat ringan, kuat, dan relatif tahan terhadap bahan kimia. Namun, sifat tersebut juga menyebabkan plastik PP sulit terurai secara alami sehingga keberadaannya dapat menimbulkan permasalahan apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu alternatif pengolahan limbah plastik yang dapat dilakukan adalah melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi material secara termal dengan kondisi oksigen yang terbatas sehingga material plastik dapat diuraikan menjadi produk berupa minyak, gas, dan residu.

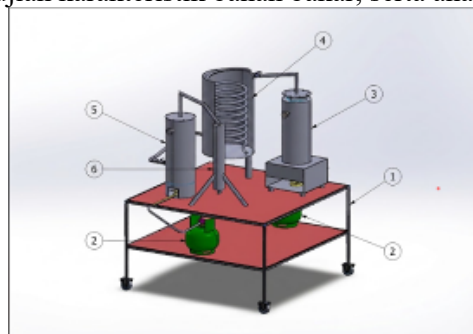
Dalam proses pirolisis limbah plastik, kondisi pembakaran memiliki pengaruh terhadap proses pemanasan reaktor. Panas yang dihasilkan dari ruang pembakaran harus dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mencapai temperatur yang dibutuhkan dalam proses dekomposisi termal plastik. Kebocoran panas dari ruang pembakaran dapat menyebabkan energi yang dihasilkan tidak tersalurkan secara maksimal menuju reaktor. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan proses pemanasan menjadi kurang efektif dan dapat memengaruhi kestabilan temperatur selama proses pirolisis. Oleh karena itu, sistem pembakaran perlu dirancang dengan memperhatikan kemampuan penutup dalam menutup ruang pembakaran secara optimal.

Selain sistem pembakaran, rangka merupakan bagian penting dalam konstruksi alat pirolisis karena berfungsi sebagai struktur utama untuk menopang reaktor dan komponen pendukung lainnya. Rangka harus memiliki kekuatan dan kestabilan yang memadai agar mampu menerima beban selama alat beroperasi. Berdasarkan hasil perhitungan pada penelitian ini, massa komponen alat yang ditopang oleh rangka menghasilkan gaya tekan sebesar 1.074,48 N. Oleh karena itu, pemilihan dimensi dan material rangka menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam proses perancangan. Rangka pada penelitian ini menggunakan baja *hollow* berukuran $40 \times 40 \times 2$ mm yang dipilih berdasarkan pertimbangan kekuatan, kestabilan struktur, serta kemudahan proses fabrikasi.

Permasalahan lain terdapat pada sistem penutup pembakaran tahap kedua. Penutup tersebut tidak hanya berfungsi sebagai bagian konstruksi, tetapi juga berperan dalam membantu membatasi ruang pembakaran sehingga panas dapat dipertahankan di dalam sistem. Perancangan penutup dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi ruang pembakaran dan kekuatan material terhadap beban yang diterima. Berdasarkan perhitungan, beban yang digunakan dalam simulasi penutup pembakaran tahap kedua adalah sebesar 85,0527 N. Hasil analisis tegangan menunjukkan adanya konsentrasi tegangan pada bagian sudut bukaan ruang pembakaran sehingga bagian tersebut menjadi salah satu daerah kritis pada konstruksi penutup.

B. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan analisis teknis yang menggabungkan proses perancangan alat pirolisis dengan pengujian kekuatan struktur serta pengujian produk bahan bakar hasil pirolisis limbah plastik *polypropylene* (PP). Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi permasalahan pada rancangan sebelumnya, perancangan ulang rangka dan sistem penutup pembakaran tahap kedua, persiapan alat dan bahan, perhitungan pembebanan, simulasi kekuatan struktur, proses pirolisis, pengumpulan produk bahan bakar, pengujian karakteristik bahan bakar, serta analisis hasil.



Gambar 1. Alat Pirolisis

Keterangan:

- 1.Meja
- 2.Tabung Gas
- 3.Tabung reaktor pembakaran pertama
- 4.Kondensor spiral
- 5.Tabung reaktor pembakaran kedua

6.Kondensor

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan alat pirolisis yang telah mengalami perancangan. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan permasalahan yang ada, terutama reaktor pembakaran kedua, kestabilan struktur rangka, dan kebutuhan untuk memperbaiki sistem pemanasan. Perancangan diarahkan untuk meningkatkan kekokohan struktur dan memperbaiki sistem penutupan ruang pembakaran.

C. Pembahasan dan Analisa

Perancangan Rangka Dan Tutup Pembakaran kedua

Berdasarkan hasil perhitungan untuk menentukan berat beban yang akan digunakan pada pengujian rangka alat pirolisis, diperoleh data massa dari setiap komponen yang ditopang oleh rangka. Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan berat masing-masing komponen utama alat, sehingga dapat diketahui total beban yang akan diterima oleh rangka selama proses pengujian.

Tabel 1. Total Berat

Komponen	Total Berat Komponen
Reaktor pembakaran pertama	15,25 kg
Kondensor	74,47 kg
Reaktor pembakaran kedua	8,67 kg
Tabung penampungan	2,65 kg
Sampah yang di gunakan	2 kg
Total berat	103,04 kg

Berdasarkan data yang di dapat dari hasil perhitungan berat sebelumnya maka dilakukanlah perhitungan berat sebagai berikut:

$$F = m \times g$$

$$F = 103,04 \times 9,81$$

$$= 1.010,82 \text{ N}$$

Untuk menghitung kekuatan penutup pembakaran kedua digunakan rumus sebagai berikut:

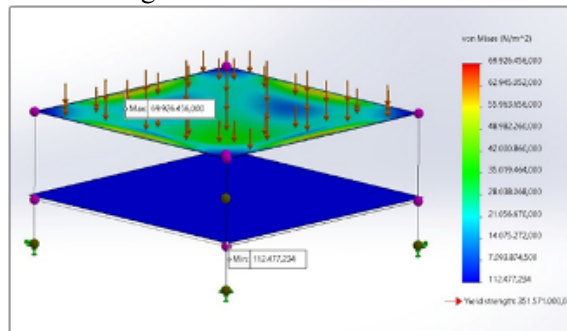
$$F = m \times g$$

$$F = 8,67 \times 9,81$$

$$= 85,0527 \text{ N}$$

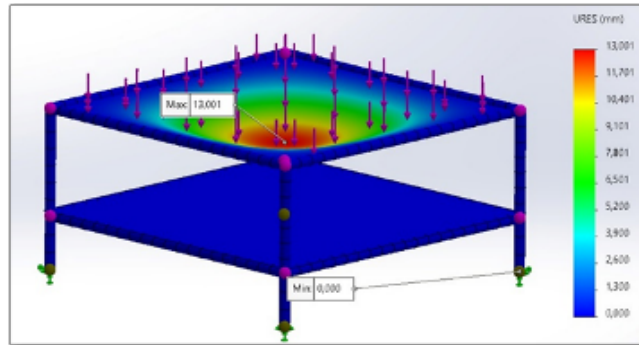
Rangka merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penopang seluruh bagian alat pirolisis, sehingga kekuatan struktur menjadi salah satu aspek penting dalam proses perancangan. Rangka hasil redesain menggunakan material *hollow* berukuran 40 × 40 × 2 mm dengan dimensi meja 120 × 120 cm dan tinggi 60 cm. Pemilihan ukuran tersebut disesuaikan dengan kebutuhan penempatan reaktor dan komponen pendukung lainnya.

Berdasarkan hasil perhitungan massa seluruh komponen yang ditopang oleh rangka, diperoleh total massa sebesar 103,04 kg. Massa tersebut kemudian dikonversikan menjadi gaya menggunakan percepatan gravitasi 9,81 m/s² sehingga diperoleh beban sebesar 1.074,48 N. Beban tersebut digunakan sebagai dasar dalam simulasi kekuatan rangka.



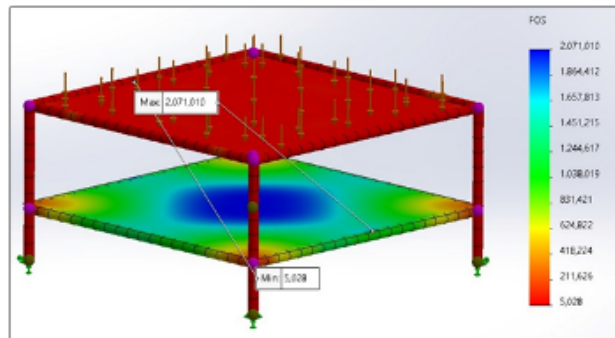
Gambar 2. Tegangan Meja

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada rangka sebesar 69,92 MPa, sedangkan tegangan minimum sebesar 112.477 N/m². Tegangan maksimum terjadi pada bagian tengah rangka atas yang menerima pembebanan terbesar. Nilai tegangan maksimum tersebut lebih rendah dibandingkan dengan *yield strength* material sebesar 351,57 MPa. Dengan demikian, berdasarkan hasil simulasi, rangka masih bekerja pada daerah elastis dan tidak menunjukkan indikasi terjadinya kegagalan akibat pembebanan yang diberikan.



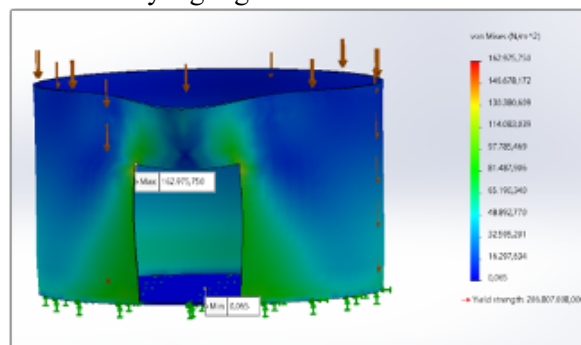
Gambar 3. Regangan Meja

Selain tegangan, hasil simulasi menunjukkan perpindahan maksimum sebesar 13,001 mm. Perpindahan terbesar terjadi pada bagian tengah permukaan atas rangka karena bagian tersebut menerima beban secara langsung dan tidak mendapatkan tumpuan langsung. Sementara itu, nilai perpindahan minimum sebesar 0 mm terdapat pada bagian kaki rangka yang diberikan kondisi pengekangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa deformasi terbesar terjadi pada daerah yang menerima beban utama, sedangkan bagian tumpuan tetap berada pada posisi yang relatif stabil.



Gambar 4. Faktor keamanan meja

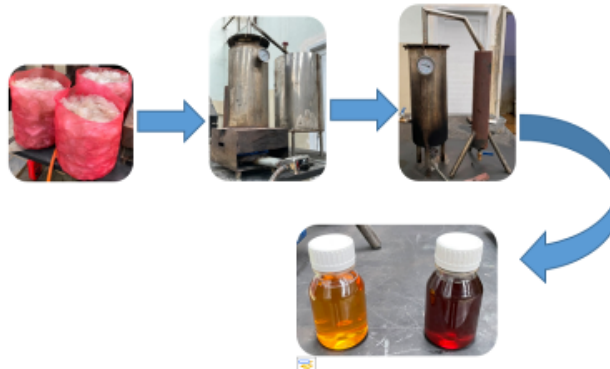
Analisis *Factor of Safety* menunjukkan nilai minimum sebesar 5,028. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemampuan struktur terhadap pembebanan yang diberikan masih memiliki tingkat keamanan yang cukup tinggi. Dengan mempertimbangkan hasil tegangan dan nilai FOS, rangka hasil redesain dapat dinyatakan mampu menopang komponen alat pirolisis berdasarkan kondisi pembebanan yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 5. kekuatan penutup reaktor pembakaran

Pada analisis kekuatan, penutup pembakaran tahap kedua diberikan beban sebesar 85,0527 N. Pembebanan tersebut digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan pada struktur penutup. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 162,98 MPa. Daerah dengan tegangan paling tinggi berada di sekitar bagian sudut bukaan ruang pembakaran. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan geometri atau adanya bukaan pada konstruksi dapat menjadi daerah yang mengalami konsentrasi tegangan.

Skema Penelitian



Gambar 6. Skema Penelitian

Skema penelitian dimulai dengan pemotongan limbah gelas plastik berbahan *polypropylene* yang dimasukkan ke dalam reaktor pembakaran pertama untuk menjalani proses pirolisis pada suhu 300°C selama 3 jam. Uap yang dihasilkan diembunkan melalui kondensor spiral tembaga-kuningan dengan sistem sirkulasi air bawah-ke-atas. Selanjutnya, minyak pirolisis diproses kembali pada reaktor kedua dengan pemanasan 100°C selama 15 menit, lalu dialirkan ke kondensor kedua yang memanfaatkan pendinginan suhu ruangan. Hasil akhir menunjukkan bahwa dari 2 kg sampel plastik PP, sistem pembakaran tertutup menghasilkan rendemen minyak lebih banyak (1.500 ml) dibandingkan sistem pembakaran terbuka (1.300 ml).

Hasil Minyak Pirolisi

Hasil minyak yang diperoleh dari proses pirolisis limbah plastik polypropylene (PP) dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan kondisi pembakaran yang digunakan, yaitu pembakaran terbuka dan pembakaran tertutup. Pembagian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan dari masing-masing kondisi pembakaran. Pada pembakaran terbuka, proses pemanasan berlangsung dengan ruang pembakaran yang tidak sepenuhnya tertutup, sedangkan pada pembakaran tertutup digunakan sistem penutup pada ruang pembakaran untuk membatasi keluarnya panas dari ruang pembakaran. Minyak hasil dari kedua kondisi tersebut kemudian dikumpulkan secara terpisah dan digunakan sebagai sampel untuk dilakukan pengujian serta perbandingan terhadap karakteristik bahan bakar yang dihasilkan.



Gambar 6. minyak pirolisis

Tabel 2. hasil pengujian minyak pirolisis
(sumber lemigas report number 202601591/LHU/DPMA/VII/2026)

No.	Parameter Uji	Unit	Pembakaran Terbuka	Pembakaran Tertutup	Metode Uji
1	Angka Setana		31.5	27.0	ASMT D 613-25
2	Berat jenis pada suhu 15°C	kg/m ³	780.9	766.8	ASMT D 4052-22
3	Viskositas pada suhu 40°C	mm ² /s	1.465	0.975	ASMT D 445-24

Berdasarkan Tabel 2, sistem pembakaran terbuka menghasilkan kualitas minyak pirolisis yang lebih unggul dibandingkan sistem pembakaran tertutup:

1. Angka setana: Metode pembakaran terbuka menghasilkan Angka Setana sebesar 31, 5, sedangkan pembakaran tertutup hanya mencapai 27, 0. Nilai setana yang lebih tinggi mengindikasikan kemampuan menyala yang lebih cepat dan pembakaran yang lebih halus di dalam mesin. Kondisi sirkulasi panas terbuka memungkinkan distribusi temperatur reaksi yang konstan dan merata di sepanjang dinding reaktor, sehingga pemecahan rantai karbon polimer PP menghasilkan senyawa hidrokarbon yang lebih stabil dan mudah terbakar.
2. Berat Jenis: Pembakaran terbuka menghasilkan massa jenis yang lebih padat (780,9 kg/m³) dibandingkan pembakaran tertutup (766,8 kg/m³). Berat jenis yang lebih tinggi mencerminkan terbentuknya rantai molekul karbon sedang yang lebih stabil, yang berkolerasi positif dengan kerapatan kandungan energi per liter bahan bakar. Sebaliknya, pembakaran tertutup cenderung memicu perekaan berlebih (*over-cracking*) yang menghasilkan fraksi ringan yang mudah menguap.
3. Viskositas Kinetik: Ketinggian tingkat kekentalan minyak pada pembakaran terbuka mencapai 1,465 mm²/s, sedangkan pada pembakaran tertutup turun drastis menjadi 0,975 mm²/s. Kekentalan yang terlalu rendah pada sistem tertutup berisiko menurunkan sifat pelumasan pada komponen pompa injeksi bahan bakar, sementara viskositas pada sistem terbuka lebih mendekati rentang operasional ideal bahan bakar cair pembanding.

D. Penutup

Penelitian ini berhasil mengintegrasikan aspek rancang bangun mekanis reaktor pirolisis dengan analisis kualitas bahan bakar cair dari limbah plastik Polypropilena. Rangka meja penopang berukuran 120 X 120 X 60 cm berbahan baja *hollow* 40 X 40 X 2 mm terbukti aman secara struktural menahan beban total 109,53 kg dengan nilai FOS minimum 5,160. Rancang bangun sistem penutup pembakaran tahap kedua berdiameter 38 cm mampu meminimalisasi kebocoran panas dengan FOS 1,268. Berdasarkan pengujian mutu bahan bakar berstandar ASTM, sistem pembakaran terbuka terbukti memberikan performa reaksi yang lebih optimal dengan menghasilkan Angka Setana 31,5, Berat Jenis 780,9 kg/m³, dan Viskositas 1,465 mm²/s. Sirkulasi aliran panas dan udara yang terdistribusi secara konsisten menjadi parameter kunci dalam mengoptimalkan pemecahan rantai hidrokarbon plastik PP menjadi bahan bakar alternatif berkualitas.

Ada pun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu, untuk mendesain ulang kondensor pembakaran kedua untuk hasil yang lebih optimal dan menambahkan proses pemurnian lanjutan (*distillation/catalytic reforming*) pada minyak pirolisis sampah plastik polypropilena untuk meningkatkan Angka Setana hingga memenuhi kualifikasi standar Diesel Nasional.

Daftar Pustaka

Adhiharto, R., Nusantara, A. B., Komara, A. I., & Wigenaputra, D. H. (2023). Perancangan Ulang dan Analisa Mesin Benchtop Injection Molding dengan Metode VDI 2222.

- Teknologi Dan Rekaya Manufaktur*, 5(2), 153–168. <https://doi.org/HTTPS://DOI.ORG/10.48182/jtrm.v5i2.148>
- Azis Amaliah, H., & Rante Batu, H. (2021). Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP)Metode Pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1).
- Ilmiah, J., Terpadu, M., Putri, D. R., Ferdinandus, N., Wafi, A., & Tarumanagara, U. (2024). PEMBUANGAN LIMBAH PLASTIK DI INDONESIA YANG TIDAK TERKENDALI: MENGAPA BISA TERJADI? APA DAMPAKNYA DAN BAGAIMANA CARA MENGATASINYA? *Jurnal Ilmiah Mutidisiplin Terpadu*, 8(6), 2032–2041.
- Nasrullah, M. R., Farabi, A., & Rizaly, A. (2023). ANALISA MUTU PADA REDESIGN ALAT PIROLISIS CAIR. *Jurnal Rekayasa Sistem Engineering & Manufaktur*.
- Novita, S. A., Fudholi, A., Doktoral, P., Pertanian, I., Andalas, U., Studi, P., Industri, T., Andalas, U., Agribisnis, P. S., Andalas, U., Studi, P., Pertanian, T., Andalas, U., Indonesia, P., & Korespondesi, P. (2021). www.agroteknika.id. *ARGOTENIKA*, 4(1), 53–67.
- Pah, J. C. A., Adoe, D. G. H., Fahik, E. D., Studi, P., & Mesin, T. (2023). Desain Alat Pirolisis Reaktor Tunggal Untuk Daur Ulang Sampah Plastik. *Jurnak Teknik Mesin UNDANA*, 10(02), 86–90.
- Sirodz, M. P. N., Nugraha, N., Simbolon, P., & Salsa, N. R. (2024). Rancang Bangun Reaktor Pirolisis Batang Tembakau Kapasitas 25-65 Kg. *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 8.
- Surono, U. B., Teknik, J., Universitas, M., & Yogyakarta, J. (2005). *BERBAGAI METODE KONVERSI SAMPAH PLASTIK*. 32–40.
- Vianto, Y. N. (2024). MENJADI BAHAN BAKAR CAIR. *Jurnal Rekayasa Sistem Engineering & Manufaktur*, 2(1), 42–51.