








Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Penelitian ini merupakan pelaksanaan Tahun-1 dari dua tahun yang direncanakan. Beberapa capaian dalam melaksanakan penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Dalam penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah dari jenis-jenis plastik yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair [1]. Ada tujuh jenis plastik yang direncanakan untuk dijadikan bahan baku (*feedstock*). Bahan baku dikumpulkan, dibersihkan dan dicacah sesuai ukuran yang dibutuhkan. Salah satu jenis plastik yang digunakan adalah dari jenis PET seperti botol air minum mineral seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini. Botol plastik dan bahan plastik lainnya dipotong dan dicacah sekecil mungkin ($\pm 1 \text{ cm}^2$). Berbeda dengan penelitian terdahulu dimana jenis plastik yang di proses pirolisis hanya dari jenis plastik air mineral kemasan kecil [2, 3]. Namun sesungguhnya semua jenis plastik dapat diproses untuk mendapatkan bahan bakar cair alternatif yang memiliki nilai kalor setara dengan bahan bakar minyak tanah (kerosene), bensin (gasoline), dan juga solar [4, 5, 6, 7]. Potensi semua jenis sampah plastic menghasilkan bahan bakar cair bila diproses termal secara pirolisis sangat menjanjikan. Hal ini disebabkan karena semua jenis plastik memiliki bahan menguap (*volatile matter*) yang tinggi seperti yang diungkapkan oleh Syaruddin dkk, 2016 [4] seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut.

Table 1. Analisis proximasi bahan plastik [4]

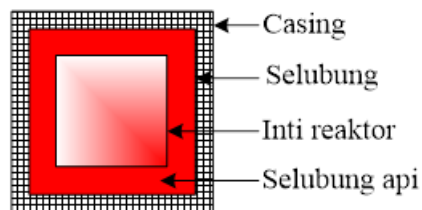
Type of plastics	Plastics type marks	Moisture (wt%)	Fixed carbon (wt%)	Volatile (wt%)	Ash (wt%)
Polyethylene terephthalate (PET)		0.46 0.61	7.77 13.17	91.75 86.83	0.02 0.00
High-density polyethylene		0.00 0.00	0.01 0.03	99.81 98.57	0.18 1.40
Polyvinyl chloride (PVC)		0.80 0.74	6.30 5.19	93.70 94.82	0.00 0.00
Low-density polyethylene		0.30 -	0.00 -	99.70 99.60	0.00 0.40
Polypropylene		0.15 0.18	1.22 0.16	95.08 97.85	3.55 1.99
Polystyrene		0.25 0.30	0.12 0.20	99.63 99.50	0.00 0.00
Polyethylene (PE) Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) Polyamide (PA) or Nylons Polybutylene terephthalate (PBT)		0.10 0.00 0.00 0.16	0.04 1.12 0.69 2.88	98.87 97.88 99.78 97.12	0.99 1.01 0.00 0.00

Gambar 1 dibawah ini menunjukkan contoh dan jenis-jenis sampah plastik yang di proses pirolisis. Tujuh jenis sampah plastik ditemukan sangat melimpah sebab penggunaan material plastik ini hampir disegala bidang; industri, perkantoran, rumah sakit, restoran, dan rumah keluarga. Ketujuh jenis plastik tersebut memiliki karakteristik tersendiri bila diproses pirolisis, terutama suhu pirolisis yang digunakan.



Gambar 1. Jenis plastik bahan penelitian; (1)PET, (2) HDPE, (3) PV, (4) LDPE, (5) PP, (6) PS, dan (7) Other

Alat pirolisa dibuat/difabrikasi di workshop Teknik Mesin Fakultas Teknik Unimed. Sebagian peralatan sudah selesai dibuat, namun perlu pengujian secara fungsional. Gambar 2 menunjukkan skema utama reaktor, dimana inti reaktor dimana proses pirolisis dilakukan diselubungi oleh api hasil pembakaran bahan bakar LPG. Sebuah burner kapasitas besar akan digunakan untuk membakar LPG dengan tujuan mendapatkan energi panas yang tinggi hingga mampu mencapai suhu operasional pirolisis didalam inti reaktor sekitar 300-600 °C [8]. Untuk mengurangi kehilangan energi panas, maka selubung api dilapisi dengan isolator panas dari batu tahan api.



Gambar 2. Skema reaktor pirolisa

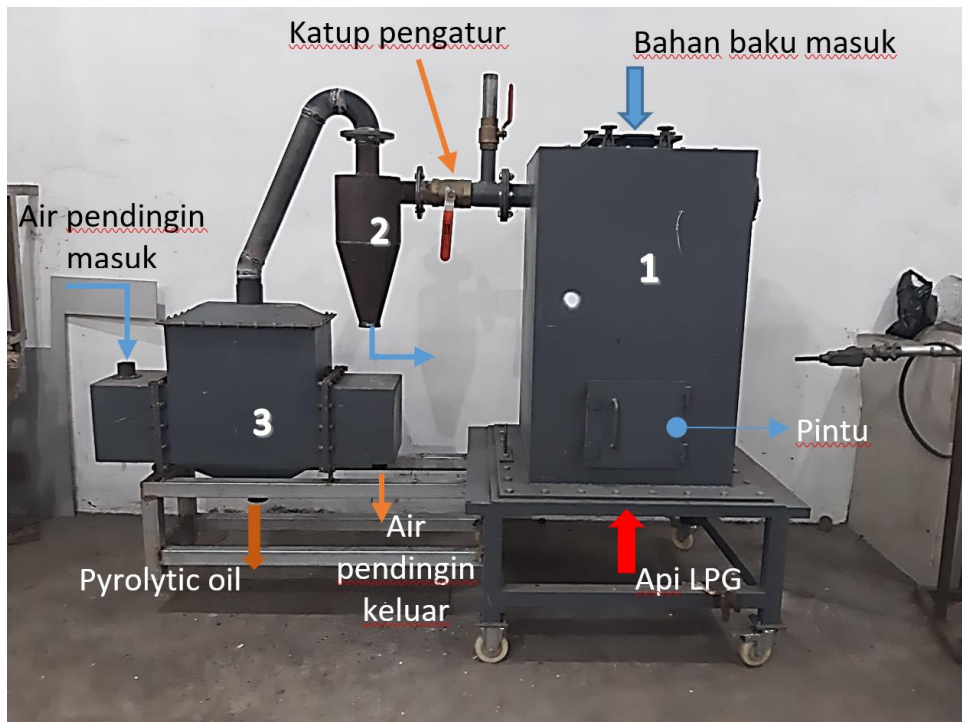
Reaktor yang direncanakan adalah dari tipe fixed-bed yang sesuai untuk proses pirolisa tipe lambat [9]. Beberapa gambar berikut menunjukkan progres yang sudah dicapai dalam desain dan fabrikasi reaktor pirolisa hingga mendapatkan prototipe yang direncanakan. Reaktor ini dilengkapi dengan dua buah port untuk termocouple yang berfungsi untuk mendeteksi suhu didalam inti reaktor pada bagian bawah dan atas inti reaktor. Reaktor ini juga dipasang pintu untuk mengeluarkan produk padatan berupa residu dari proses.



Gambar 3. Desain dan fabrikasi reactor pirolisa

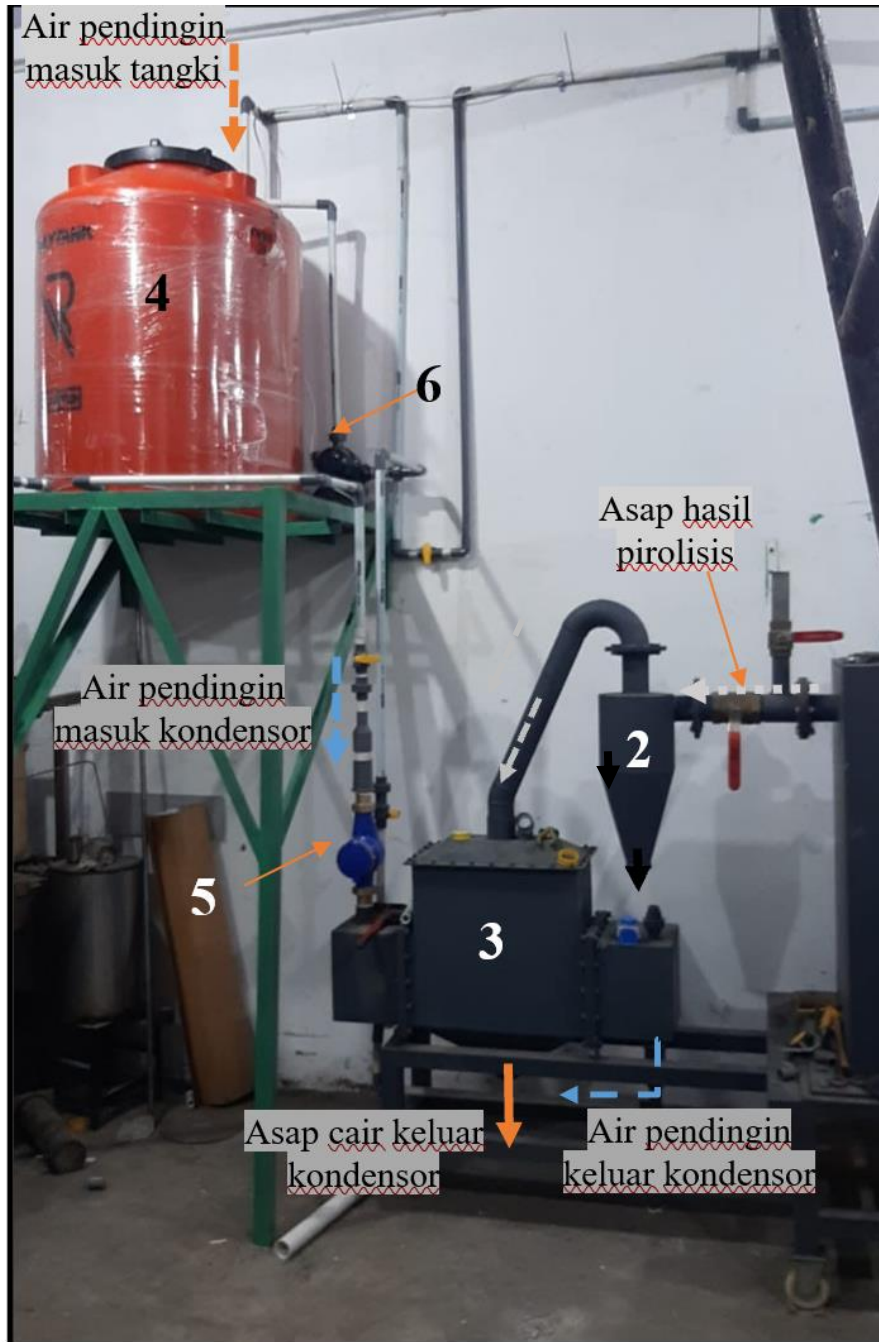


Gambar 4. Prototipe reaktor eksperimen pirolisa



Gambar 5. Instalasi produksi pyrolytic oil dari bahan plastik: (1) Reaktor pirolisis, (2) Cyclone, (3) Kondensor

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa rangkaian atau susunan peralatan penelitian terdiri dari 3 komponen utama, yaitu: reaktor pirolisis dimana bahan baku di proses hingga menghasilkan uap (vapour) yang dapat mencair. Reaktor pirolisis menggunakan bahan bakar LPG sebagai sumber panas. Uap kemudian mengalir kedalam cyclone dengan tujuan untuk mengurangi material padat dan tar. Untuk mengubah uap pirolisis menjadi cairan maka dilakukan proses pendinginan dengan cepat [10]. Untuk melakukan tugas ini maka dibuat satu alat pendingin yang disebut dengan kondensor. Kondensor menggunakan air sebagai fluida pendingin dengan sebuah pompa air digunakan untuk mengalirkan air pendingin dengan kelajuan yang dapat dikontrol. Sistem pendingin yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 6 berikut. Air biasa (air sumur) digunakan sebagai media pendingin di kondnesor. Air dikumpulkan di tangki dan diatur menggunakan keran dan diukur menggunakan meteran air. Kelajuan air pendingin sangat penting di kontrol agar dapat menghasilkan produk minyak mentah yang maksimum.

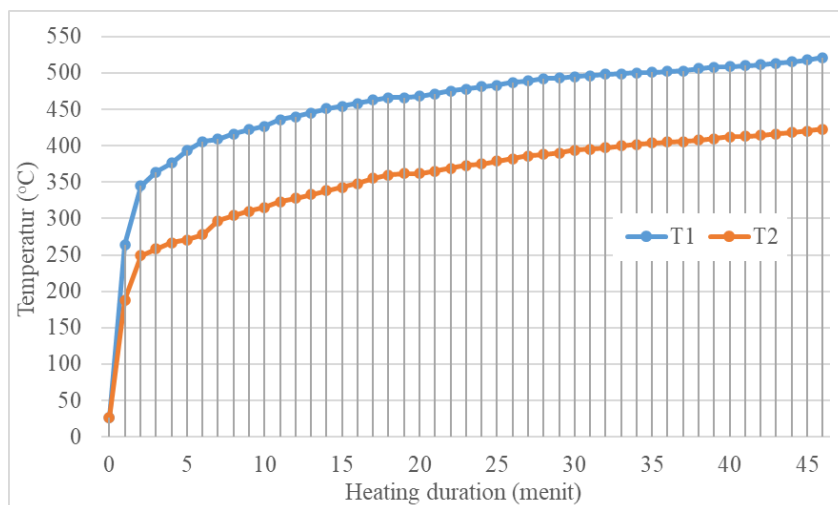


Gambar 6. Instalasi sistem pendingin proses pirolisis; (4) Tangki air pendingin, (5) Meteran air pendingin, (6) Pompa air pendingin ke tangki



Gambar 7. Sistem pirolisis bahan plastik menjadi bahan bakar: (1) Reaktor pirolisa, (2) Cyclone, (3) Kondensor, (4) Tangki air pendingin kondensor, dan (5) Meteran kelajuan air pendingin

Gambar 8 berikut adalah grafik hasil pengujian fungsional reaktor pirolisis. Reaktor berfungsi untuk mendekomposisi bahan baku plastik menjadi molekul rantai pendek atau ringan dalam wujud uap atau disebut dengan uap pirolisis. Uap ini akan mencair dengan cepat bila dilakukan pendinginan. Dalam penelitian ini digunakan sebuah kondensor dari tipe tabung dan pipa (*shell and tube*) heat exchanger. Berdasarkan pengujian fungsional bahwa kondensor dapat bekerja dengan baik. Sirkulasi air pendingin diobservasi dapat mengalir dengan sempurna. Hasil uji coba menunjukkan bahwa reaktor dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan standar temperatur untuk proses pirolisis, dimana suhu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis mulai dari suhu 300 °C. Reaktor dapat mencapai suhu hingga 500 °C lebih dalam kurun waktu hampir 45 menit yang tergolong dalam proses pirolisa lambat. Temperatur T1 dan T2 adalah posisi temperatur operasional yang diobservasi masing-masing pada zona pirolisis dan zona reaksi kedua seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.



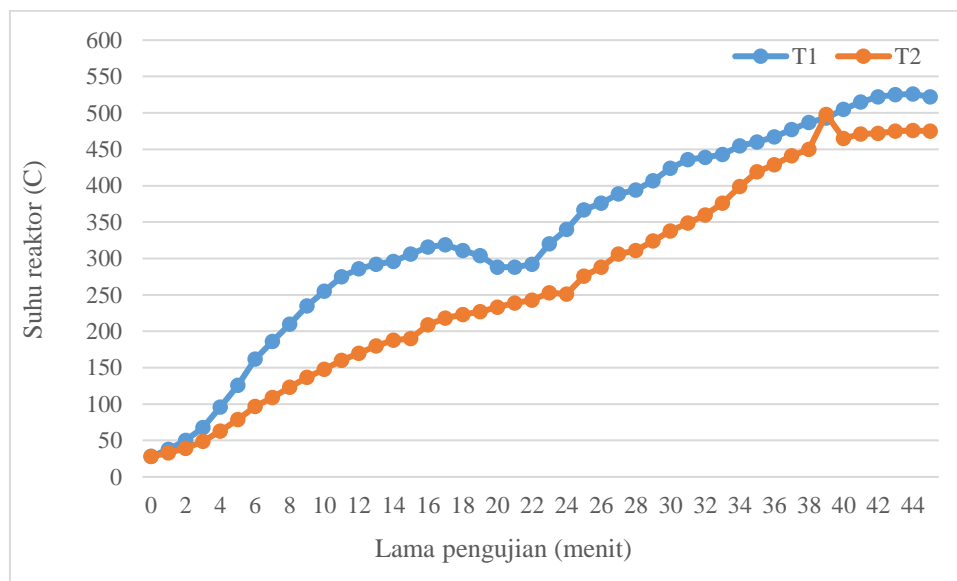
Gambar 8. Grafik hasil uji fungsional reaktor pirolisa

Gambar 9 dibawah ini menunjukkan produk hasil uji coba sementara reaktor pirolisis yang dibangun. Dalam uji coba ini digunakan sampah plastik dari jenis LDPE yaitu plastik jenis No 4, yang biasa disebut dengan plastik kantong yang secara fisik adalah tipis, mudah berubah dan sangat peka terhadap suhu. Belum semua jenis plastik dapat diproses pirolisis berhubung ketergantungan kepada waktu yang dibutuhkan dalam rancang bangun sistem alat pirolisis serta penyerahan laporan akhir penelitian. Dalam pengujian ini 350 gr sampah plastik jenis LDPE diproses pirolisis dan menghasilkan sekitar 150 gr campuran tar dan beberapa zat lainnya (a), kira-kira 80 gr arang (b), dan kira-kira 85 gr sisa plastik (c). Sisa plastik ini kemungkinan karena ada bahan lain yang bukan LDPE dan bercampur dengan plastik LDPE yang membutuhkan suhu lebih tinggi untuk mengubahnya menjadi cairan. Waktu yang digunakan dalam proses ini adalah 45 menit.



Gambar 9. Produk hasil uji coba proses pirolisis

Gambar 10 berikut menunjukkan profil suhu di dalam reaktor yang berhasil dicatat selama proses pirolisis. Dari profil suhu yang diperoleh diduga bahwa suhu yang digunakan untuk proses pirolisis plastik jenis LDPE masih terlalu tinggi sehingga produk yang dihasilkan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya yang merupakan bahan dapat terbakar



Gambar 10. Profil suhu didalam reaktor selama proses pengujian

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA.

Dalam penelitian ini dihasilkan sebuah paten sederhana sebagai luaran wajib. Paten tersebut terkait dengan alat kondensasi asap (*smoke*) hasil pirolisa material berbahan hidrokarbon menjadi cairan minyak (*pyrolytic oil*). Saat

ini paten tersebut sudah diajukan ke **Direktorat Kekayaan Intelektual** dengan Nomor Permohonan: **P00202210392** pada tanggal **23 September 2022**. Luaran tambahan berupa artikel internasional dan artikel dalam prosiding bereputasi juga sudah disubmit. Kedua luaran tambahan tersebut sudah dalam status review dari penerbit.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui BIMA.

Dalam hal dukungan dan kerjasama dengan Mitra sampai saat ini berjalan dengan lancar. Mitra datang ke workshop untuk memantau dan memberi masukan terkait peralatan yang didesain dan dibuat. Dalam hal uji karakteristik, Mitra akan memberikan bantuan dalam bentuk layanan uji karakteristik dari *pyrolytic oil* yang akan dihasilkan.



Gambar 9. Kunjungan Mitra ke workshop

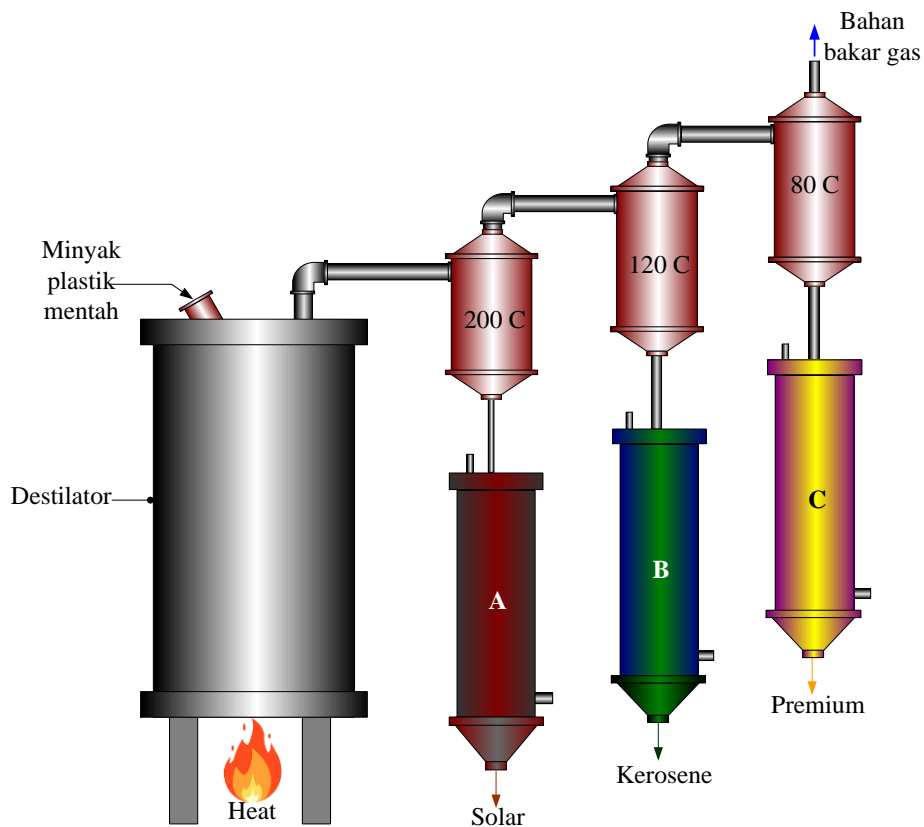
F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Dalam melaksanakan penelitian ini terkendala dalam beberapa hal. Fabrikasi alat dan instalasi peralatan penelitian membutuhkan waktu. Alat juga perlu diuji secara fungsional. Selain itu pengumpulan material/bahan baku penelitian, dimana jenis-jenis plastik sesuai rencana penelitian harus dikumpulkan, dibersihkan, dan dicacah. Pengujian-pengujian awal harus dilakukan hingga mendapatkan kondisi penelitian yang standar ditemukan. Melihat waktu yang tersedia, kemungkinan pengujian yang dapat dilaksanakan hingga pada uji coba produksi *pyrolytic oil* (minyak mentah dari plastik). Masing-masing alat yang didesain dan dibangun perlu uji fungsional sebelum di usulkan paten sederhana. Secara keseluruhan sistem yang dibangun perlu di uji coba (*pre-experiment*) untuk mendapatkan karakter yang diperlukan. Reaktor pirolisis misalnya perlu diuji coba dalam hal temperatur kerja. Reaktor ini dipanasi menggunakan bahan bakar LPG. Selama proses pemanasan, maka suhu didalam reaktor di observasi melalui termocouple dan dibaca melalui termometer reader.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan

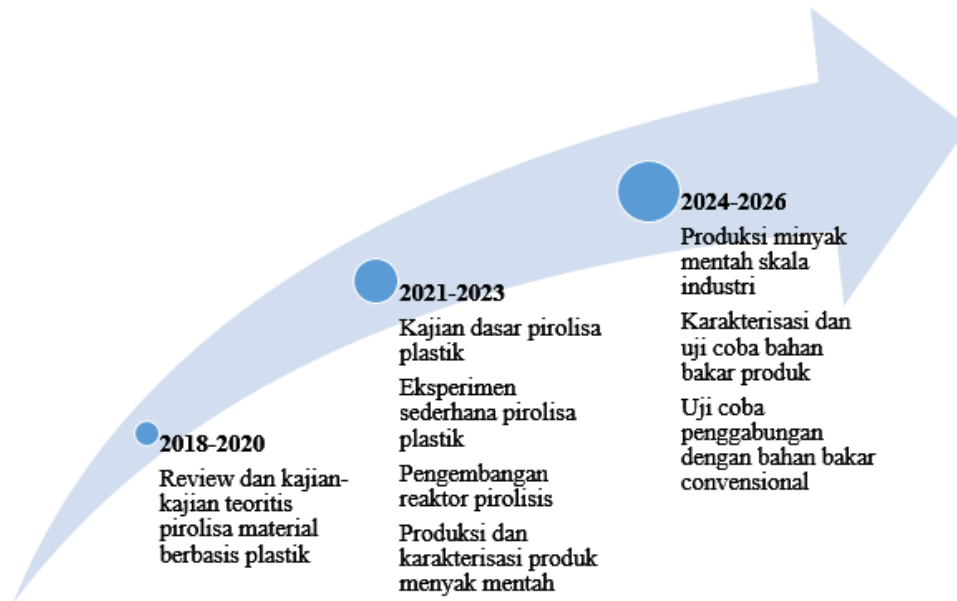
tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Direncanakan tahun kedua penelitian ini adalah terkait dengan upaya pemisahan molekul *pyrolytic oil* atau minyak mentah plastik dengan metode pemanasan atau proses destilasi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan jenis-jenis bahan bakar yang bermutu berdasarkan massa jenisnya. Tergantung temperatur destilasi, maka molekul dengan massa jenis tinggi akan terkondensasi lebih dahulu dan molekul dengan massa jenis lebih rendah akan menguap kemudian dan akan kembali ke bentuk cairan setelah melalui alat pendingin. Gambar 10 menunjukkan rencana sistem destilasi yang akan digunakan untuk mendapatkan bahan bakar setara dengan bahan bakar fosil. Hidrokarbon berat yang memiliki suhu saturasi 200 °C akan terkondensasi pada kondensor A menghasilkan bahan bakar sejenis atau setara dengan minyak solar, sedangkan hidrokarbon lebih ringan yang memiliki suhu saturasi antara 120 °C hingga 80 °C akan terkondensasi pada kondensor B dan C menghasilkan minyak setara dengan kerosene (B) dan premium (C). Direncanakan bahwa kondensor yang digunakan adalah dari jenis kondensor tabung dan pipa spiral dengan air pendingin yang suhunya dapat dikontrol. Kondensor jenis seperti ini sudah berhasil diuji coba terhadap pengembunan uap pirolisa tempurung kelapa [11].



Gambar 10. Skematik sistem destilasi yang direncanakan

Sesuai dengan peta jalan penelitian (*road map*) yang sudah ditentukan, maka di tahun kedua akan dilakukan karakterisasi bahan bakar minyak mentah yang dihasilkan. Sebuah alat destilasi sangat dibutuhkan untuk melakukan proses pemisahan rantai molekul-molekul minyak mentah. Setelah berhasil melakukan produksi bahan bakar mentah, maka di tahun kedua direncanakan untuk membuat dan mengajukan draft paten sederhana terkait prototipe reaktor pirolisis produksi bahan bakar mentah dari material berbahan plastik. Hasil destilasi akan diuji kinerja dengan menggunakannya sebagai bahan bakar. Data-data kinerja yang diperoleh akan dipublikasi melalui seminar internasional dan publikasi dalam jurnal internasional bereputasi.



Gambar 11. Road map penelitian konversi bahan plastik menjadi bahan bakar alternatif

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Jha, K.K., Kannan, T.T.M., Recycling of plastic waste into fuel by pyrolysis-a review. *Materials today: Proceeding*, 2021. 37: p. 3718-3720.
2. Tambunan, B.H. and J.P. Simanjuntak, Pyrolysis of plastic waste into the fuel oil. *Proceedings of the 2nd Annual Conference of Engineering and Implementation on Vocational Education*, 3rd November 2018, North Sumatra, Indonesia
3. Syamsiro, M., et al., Energy Recovery from Food Packaging Plastics by Thermal and Catalytic Pyrolysis Processes. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 2020. 8(1): p. 51-58
4. Sharudin, S.D.A., Abnisa, F., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K, A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 2016. 115: p. 308-326.
5. Miandad, R., et al., Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International biodeterioration & biodegradation*, 2017. 119: p. 239-252.
6. Al-Salem, S.M., et al., A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*, 2017. 197: p. 177-198.
7. Kumar Jha, K. and T.T.M. Kannan, Recycling of plastic waste into fuel by pyrolysis - a review. *Materials Today: Proceedings*, 2021. 37: p. 3718-3720.
8. Sharma, B.K., Moser, B.R., Vermillion, K.E., Rajagopalan, N., Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags. *Fuel Process. Technol.*, 2014. 122: p. 79-90.
9. Basu, P., *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. 2018: Academic press.
10. Yin, C, Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuel production. *Bioresource Technology*, 2012. 120: p. 273-284.
11. Simanjuntak, J.P., et al., Pengaruh Suhu Kondensasi Pada Produksi Asap Cair Dari Biomassa Tempurung Kelapa Dengan Proses Pirolisis. *SJoME.*, 2022. 4: p. 1-9.