

Karakteristik konversi plastik *polypropylene* (PP) untuk produksi minyak dengan metode pirolisis

Rahmat Iman Mainil^{a,1}, Junior Jonathan Panjaitan^a, Azridjal Aziz^a, Afdhal Kurniawan Mainil^b

^aLaboratorium Rekayasa Thermal, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru

^bJurusan Teknik Mesin, Universitas Bengkulu, Bengkulu

rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

One approach to solving the environmental issues brought on by garbage accumulation is to recycle plastic waste. The pyrolysis technique is a highly promising method for recycling plastic waste. In this work, pyrolysis was used to heat polypropylene (PP) plastic at a temperature range of 250–350 °C and residence time of 30-90 minutes. The effect of temperature and the holding time was used to determine the reaction rates of pyrolytic oil, solids, and gas production by comparing experimental results with numerical calculations. These results showed that higher temperatures and longer residence times increased pyrolysis oil production. The numerical model developed fit well with the experimental data. Understanding the pyrolysis process and degradation mechanism is essential for scale-up and reactor design.

Keywords: pyrolysis, polypropylene, pyrolytic oil, reaction rates

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN.

Sampah plastik merupakan permasalahan yang krusial di Indonesia, di mana 3,22 juta metrik ton sampah plastik dihasilkan setiap tahun. Angka ini menjadikan Indonesia sebagai penghasil sampah plastik terbesar ke dua di dunia setelah cina [1]. Sebagian besar sampah tersebut (0.48-1.29 Juta metrik ton) dibuang ke laut. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan plastik juga meningkat karena sifatnya yang serbaguna, ringan, daya tahan tinggi, tidak korosif, dan ekonomis [2]–[4].

Pemerintah telah berkomitmen untuk mengurangi permasalahan akibat limbah plastik dengan metode 3 R (*Reduce, Reuse, Recycle*), dimana pada tahun 2025 ditargetkan jumlah sampah plastik menurun hingga 70 % [5]. Penimbunan sampah pada tempat pembuangan akhir (TPA) memiliki beragam konsekuensi, seperti biodegradabilitas yang buruk, resiko kesehatan terhadap organisme di darat dan di air, serta beragam pencemaran lingkungan lainnya [6]. Metode daur ulang juga menyisakan masalah dimana membutuhkan biaya yang tinggi serta jumlah tenaga kerja yang banyak [7]. Metode pembakaran sampah atau insenerasi menghasilkan emisi gas rumah kaca serta gas berbahaya lainnya [8].

Pirolisis memberikan sebuah alternatif terhadap pengkonversian plastik. Pirolisis merupakan proses termokimia yang memanfaatkan panas dalam kondisi miskin oksigen. Proses ini dapat

menguraikan bahan baku menjadi minyak pirolitik, padatan, dan produk gas pada kisaran temperatur 250-600 °C [9]–[11].

Polypropylene (PP) merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan produk plastik. Plastik PP digunakan untuk kotak makanan, piring microwave, pita pengemasan, cawan es krim, gelas air mineral, dan sedotan [12]. Struktur kimia PP memiliki potensi yang baik untuk mengubahnya menjadi bahan bakar minyak cair dan bahan bakar gas karena kandungan volatilnya sangat tinggi pada saat pirolisis [4].

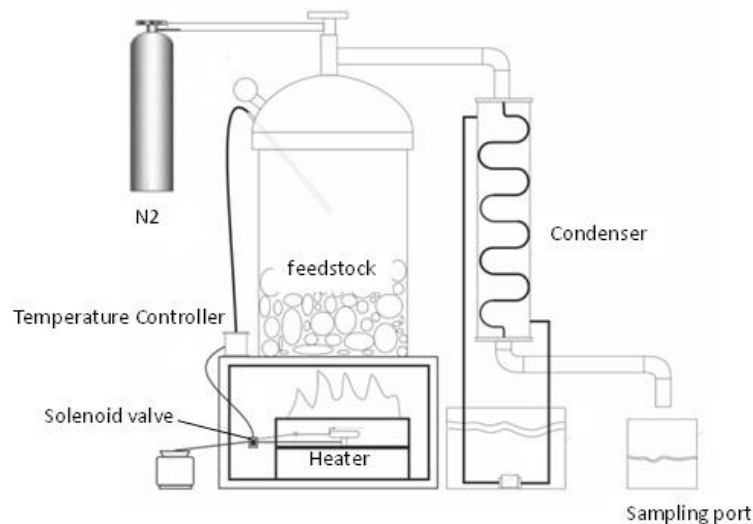
Studi mengenai pirolisis sampah plastik PP telah dilakukan oleh Yoel dkk [13], temperatur pirolisis divariasikan antara 250-350 °C dengan waktu tahan 120 menit. Hasilnya temperatur 350 °C menghasilkan minyak 62,56 %. Selain itu, pengujian sampah plastik jenis *polypropylene* menjadi minyak dengan metode pirolisis menggunakan tiga variasi suhu pirolisis yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C telah dilakukan [14]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur 250°C menghasilkan volume minyak 420 ml, densitas 0,75 g/ml, nilai kalor 39.221 J/g, kemudian temperatur 300°C menghasilkan volume 480 ml, densitas 0,76 g/ml, nilai kalor 38.870 J/g, sedangkan pada suhu 350°C menghasilkan volume 500 ml, densitas 0,77 g/ml, nilai kalor 38.301 J/g. Adapun nilai oktan minyak pirolisis adalah 83,5 dan nilai viskositasnya sebesar 0,034 Poise. Penggunaan reaktor sederhana untuk pirolisis plastik PP

dengan temperatur dijaga konstan 250 °C dilakukan oleh Dominggus dkk [15]. Waktu pirolisis divariasikan 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Hasil menunjukkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis yaitu 10.296 kal/g – 11.670 kal/g berbanding dengan nilai kalor bensin yaitu 8.356 kal/g, massa jenis yaitu 0,7678 – 0,78023 kg/l berbanding dengan massa jenis bensin yaitu 0,68 g/l dan viskositas yaitu 0,65 cP – 0,78 cP berbanding dengan viskositas bensin yaitu 0,652 cP.

Hingga kini, penelitian lainnya dikembangkan dengan perbandingan hasil konversi plastik PP dengan plastik *low density polyethylene* (LDPE) [12], [16], [17]. Untuk meningkatkan efisiensi proses pirolisis plastik PP, pengaruh katalis terhadap efisiensi pirolisis juga dilakukan oleh beberapa penelitian [18], [19]. Namun, penelitian mengenai karakteristik dekomposisi minyak propilena masih jarang dilakukan terutama yang berkaitan dengan reaksi kinetik. Sehingga penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu reaksi terhadap perilaku dekomposisi dari plastik PP dalam menghasilkan produk minyak hasil pirolisis.

METODE DAN BAHAN

Bahan



Gambar 1. Reaktor pirolisis

Untuk memulai eksperimen, pertama 500 g sample plastik polypropylene di masukkan kedalam reaktor kemudian ditutup. Kemudian, gas nitrogen dialirkan kedalam reaktor dengan laju 100 ml/menit untuk membilas reaktor. Temperatur pemanasan pirolisis divariasikan 250, 300, dan 350 °C, serta variasi waktu penahanan 30, 60 dan

Sampah plastik yang digunakan dalam penelitian adalah jenis polypropylene. Limbah plastik dicuci, dikeringkan, kemudian dipotong atau dicacah sehingga diperoleh ukuran rata-rata 15 mm. Bahan kemudian dipersiapkan dan ditimbang hingga memiliki berat 500 g.

Eksperimen pirolisis plastik

Proses pirolisis plastik Polypropylene menggunakan sebuah alat pirolisis dengan sumber panas hasil pembakaran gas LPG. Untuk mengukur temperatur reaktor pirolisis digunakan sebuah termokopel tipe K yang terhubung pada kontrol temperatur (termokontrol). Termokontrol tersebut terhubung dengan sebuah solenoid valve 12V DC yang digunakan untuk mengatur aliran gas LPG yang masuk ke kompor gas melalui selang gas. Dengan hal tersebut, kapasitas panas hasil pembakaran dapat diatur sehingga temperatur reaktor bisa dijaga. Sebuah kondensor terhubung dengan reaktor pirolisis melalui pipa tembaga (keluaran reaktor). Kondensor digunakan untuk mendinginkan bahan bakar hasil reaksi pirolisis sehingga terkondensasi dan ditampung pada pipa keluaran. Sistem pirolisis plastik dapat dilihat pada Gambar 1.

90 menit. Minyak pirolisis ditampung pada pipa saluran keluar kondensor dan ditimbang. Setelah proses pengumpulan sampel selesai, reaktor didinginkan kemudian padatan (char) diambil dari dalam reaktor dan ditimbang masanya. Setiap kondisi eksperimen dilakukan sebanyak tiga

kali. Produk-produk hasil pirolisis dihitung menggunakan persamaan 1-3:

$$Y_{char} = \frac{M_{char}}{M_{feedstock}} \times 100 \% \quad (1)$$

$$Y_{pyro\ oil} = \frac{M_{pyro\ oil}}{M_{feedstock}} \times 100 \% \quad (2)$$

$$Y_{pyro\ gas} = 1 - Y_{char} - Y_{pyro\ oil} \quad (3)$$

Dimana Y_{char} , $Y_{pyro\ oil}$, dan $Y_{pyro\ gas}$ adalah yield dari produk padat, minyak, dan gas. Sedangkan $M_{feedstock}$ adalah massa awal feedstock, M_{char} adalah massa produk char, dan $M_{pyro\ oil}$ adalah massa minyak pirolisis.

Analisis produk minyak pirolisis

Sampel minyak pirolisis diuji densitasnya menggunakan piknometer ukuran 10 ml. Viskositas minyak diuji menggunakan viscometer outswald. Nilai kalor minyak diuji dengan alat bomb kalorimeter. GC-MS (QP-2010 dengan kolom kapiler (diameter dalam 60 x 0,25mm) digunakan untuk mengkuantifikasi senyawa-senyawa penyusun minyak pirolisis. 1 mL sampel minyak dicampur dengan metanol dan disuntikkan kedalam kolom. Program temperatur kolom GC dimulai pada 150 °C dan dijaga tetap selama 5 menit. Kemudian dinaikkan temperaturnya hingga 300 °C. Dengan menggunakan larutan-larutan standar yang sudah dipersiapkan, setiap senyawa dapat teridentifikasi. Produk padatan yang diambil setelah pengujian dikeringkan selama 24 Jam didalam desikator, kemudian ditimbang beratnya. Gas pirolisis yang diproduksi bersamaan dengan minyak tidak dilakukan proses sampling dan tidak diuji, mengingat keterbatasan alat yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh temperatur terhadap distribusi produk pirolisis

Dalam penelitian ini efek dari temperatur dan waktu reaksi digunakan untuk mengetahui produksi minyak pirolisis dari bahan plastik PP. Produk lain yang dihasilkan dari reaksi ini adalah padatan (char) dan gas pirolisis.

Karakteristik produksi minyak pirolisis berbeda dengan perbedaan temperatur. Seperti terlihat pada Gambar 2a, 2b dan 2c, produksi minyak semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur. Pada temperatur 250 °C minyak pirolisis tertinggi dihasilkan pada temperatur tinggal 90 menit sebesar 8,2 wt %. Jumlah padatan tersisa di dalam reaktor menurun pada temperatur pengujian 300 °C, dimana semakin lama waktu tinggal menyebabkan jumlah padatan turun dan meningkatkan produksi minyak.

Di sini terlihat bahwa temperatur dan waktu tinggal mempengaruhi pembentukan *pyro oil*. Dimana semakin tinggi temperatur maka produksi minyak meningkat yang menekan pembentukan padatan. Formasi minyak tertinggi diperoleh pada temperatur pengujian 350 °C dan waktu tahan 30 menit dengan 68 wt %. Disini terlihat bahwa jumlah padatan menurun, dan produksi *pyro oil* sedikit menurun terhadap waktu tahan. Disamping itu, jumlah gas yang diproduksi oleh sistem naik. Ini memberi gambaran bahwa pada temperatur 350 °C terjadi reaksi pembentukan gas dari minyak.

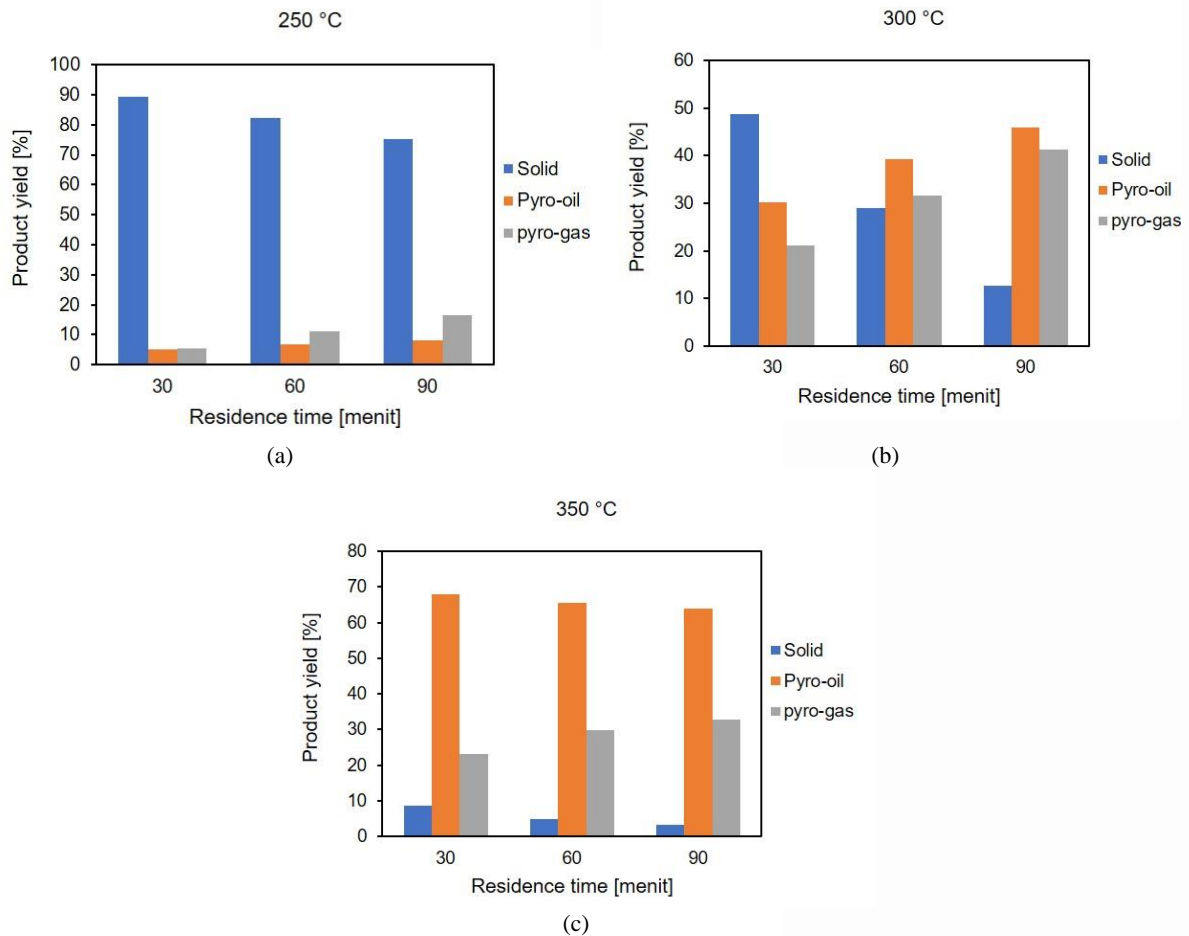
Berdasarkan perilaku dekomposisi plastik PP pada temperatur 250-350 °C yang dijelaskan sebelumnya, dapat dikembangkan mekanisme konversi *polypropylene* menjadi minyak, padatan dan gas. Pertama PP terdekomposisi menjadi minyak pirolisis dan sebagian lainnya menjadi gas. Kemudian minyak pirolisis dapat terkonversi menjadi gas, dan sebagian gas juga dapat terkonversi menjadi minyak. Padatan yang tidak terkonversi menetap didalam reaktor.

Berdasarkan jalur reaksi tersebut maka model matematika reaksi dekomposisi PP tersebut dikembangkan. Persamaan differensial digunakan untuk menentukan laju reaksi. Dengan asumsi bahwa reaksi adalah reaksi orde pertama, didapatkan bahwa hasil kalkulasi mendekati hasil eksperimen. Tabel 1 memperlihatkan parameter kinetik dari setiap reaksi.

Parameter Arrhenius ditentukan menggunakan persamaan 4:

$$k = A e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (4)$$

Di mana k adalah konstanta laju reaksi [s^{-1}], T adalah temperatur absolut (K), A adalah pre-exponential factor [s^{-1}], E_a adalah energi aktivasi [$kJ\ mol^{-1}$], and R adalah konstanta gas [$J/mol\ K$].



Gambar 2. Distribusi produk hasil pirolisis (a) 250 °C (b) 300 °C (c) 350 °C

Table 1. Parameter kinetik

Reaction	Route	Reaction rate constant [s ⁻¹]		
		250 °C	300 °C	350 °C
k1	solid → oil	0,0032	0,0146	0,0688
k2	solid → gas	0,00	0,0077	0,0093
k3	oil → gas	0,078	0,0157	0,0157
k4	gas → oil	0,028	0,0151	0,0287

KESIMPULAN

Penelitian mengenai karakteristik konversi sampah plastik PP dengan metode pirolisis telah selesai dilaksanakan. Mekanisme konversi PP menjadi produk pirolisis dipengaruhi perubahan temperatur dan waktu tinggal. Perhitungan numerik reaksi dekomposisi dari plastik PP pada proses pirolisis yang diajukan sesuai dengan data hasil eksperimen. Memahami proses pirolisis

dan mekanisme degradasi sangat penting untuk peningkatan skala dan desain reaktor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lab Rekayasa termal Universitas Riau yang telah menyediakan fasilitas peralatan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Jambeck *et al.*, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science* (80-.), vol. 347, no. 6223, pp. 768–771, 2015, [Online]. Available: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1260879><https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1260352>.
- [2] M. Syamsiro *et al.*, "Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 180–188, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.212.
- [3] S. L. Wong, N. Ngadi, T. A. T. Abdullah, and I. M. Inuwa, "Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 1167–1180, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.063.
- [4] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 308–326, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.037.
- [5] N. Hendiarti, "Combating Marine Plastic Debris in Indonesia," *Coord. Minist. Marit. Aff. Repub. Indones.*, no. July, pp. 1–18, 2018, [Online]. Available: http://www.unesco.or.id/publication/SC_Retreat/4_MarineDebrisIndonesia.pdf.
- [6] A. Rafey and F. Z. Siddiqui, "A review of plastic waste management in India—challenges and opportunities," *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–17, 2021, doi: 10.1080/03067319.2021.1917560.
- [7] A. K. Panda, R. K. Singh, and D. K. Mishra, "Thermolysis of waste plastics to liquid fuel. A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products-A world prospective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 233–248, 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.005.
- [8] R. Miandad, M. A. Barakat, A. S. Aburizaiza, M. Rehan, I. M. I. Ismail, and A. S. Nizami, "Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 119, pp. 239–252, 2017, doi: 10.1016/j.ibiod.2016.09.017.
- [9] H. Yahaya, "Catalytic fast-pyrolysis process design and equipment setup for converting palm oil empty fruit bunch biomass to bio-oil Akademia Baru," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [10] L. Ma, T. Wang, Q. Liu, X. Zhang, W. Ma, and Q. Zhang, "A review of thermal-chemical conversion of lignocellulosic biomass in China," *Biotechnol. Adv.*, vol. 30, no. 4, pp. 859–873, 2012, doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.01.016.
- [11] D. S. Scott, J. Piskorz, and D. Radlein, "Liquid Products from the continuous Flashed Pyrolysis of Biomass," *Ind. Eng. Chem.*, vol. 24, no. 3, pp. 581–588, 1985, doi: <https://doi.org/10.1021/i200030a011>.
- [12] P. G. . Uthpalani, D. S. . De Silva, V. P. . Weerasinghe, J. . Premachandra, and T. . Sarathchandra, "Pyrolysis of waste LDPE and waste PP plastics into fuel oil in a low-cost, lab-scale pyrolyzing unit P.," *J. Sci. Univ. Kelaniya*, vol. 87, no. 1,2, pp. 149–200, 2023, [Online]. Available: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/167638/341506.pdf?sequence=1&isAllowed=y>https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8314/LOEBLEIN%2C_LUCINEIA_CARLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y<https://antigo.mdr.gov.br/saneamen/to/proees>.
- [13] Y. Pasae, L. Bulu, C. Lande, and E. L. Allo, "(Pyrolysis of Polypropylene Plastic Waste : Overview of Effect of Temperature on Pyrolysis Reactors in Capacity of 1 Kg / batch)," no. 1, 2020.
- [14] M. Muchammad, "Analisis Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Jenis Polypropylene Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *J. Ilm. Momentum*, vol. 14, no. 1, pp. 69–74, 2018, doi: 10.36499/jim.v14i1.2189.
- [15] D. G. H. Adoe, W. Bunganaen, I. F. Krisnawi, and F. A. Soekwanto, "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polyprophylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer," *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 3,

- no. 1, pp. 17–26, 2016.
- [16] I. Sofana, W. Wijayanti, and N. Hamidi, “CO-PYROLYSIS OF SCRAP TIRES (ST) DAN PLASTIK POLYPROPYLENE (PP): DISTRIBUSI PRODUK DAN PROPERTIS FISIK PYRO-OIL,” no. July, pp. 837–846, 2022.
- [17] Ida Bagus Alit, I Gede Bawa Susana, and I Made Mara, “Conversion of LDPE and PP plastic waste into fuel by pyrolysis method,” *Glob. J. Eng. Technol. Adv.*, vol. 10, no. 3, pp. 073–078, 2022, doi: 10.30574/gjeta.2022.10.3.0055.
- [18] A. Santoso *et al.*, “Effect of Active Zeolite in the Pyrolysis of Polypropylene and Low Density Polyethylene Types of Plastic Waste,” *J. Renew. Mater.*, vol. 10, no. 11, pp. 2781–2789, 2022, doi: 10.32604/jrm.2022.021401.
- [19] M. Morina and O. Sidjabat, “CATALYTIC PYROLYSIS OF POLYPROPYLENE PLASTIC FROM MUNICIPAL SOLID WASTES INTO GASOLINE FRACTION COMPOUNDS USING THE MIXED NICKEL (Ni) AND CHROME (Cr) METALS AS THE CATALYST,” *Sci. Contrib. Oil Gas*, vol. 37, no. 3, pp. 129–140, 2022, doi: 10.29017/scog.37.3.634.
- [20] A. M. Al Jubori and Q. A. Jawad, “Computational evaluation of thermal behavior of a wickless heat pipe under various conditions,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 22, no. October, p. 100767, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100767.
- [21] K. Jagadeesh and C. Chengaiah, “A comprehensive review - Partial shading issues in PV system,” *Intell. Syst. A STEP Towar. SMARTER Electr. Electron. Mech. Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ind. Electron. Mechatronics, Electr. Mech. Power (IEMPOWER), 2021.*, vol. 2640, no. September, p. 020030, 2022, doi: 10.1063/5.0112913.
- [22] S. Chakraborty, N. N. Pathak, and M. Chakraborty, “Compact & simple semi circular ultrawide band antenna with a slotted ground plane,” *Intell. Syst. A STEP Towar. SMARTER Electr. Electron. Mech. Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ind. Electron. Mechatronics, Electr. Mech. Power (IEMPOWER), 2021.*, vol. 2640, no. September, p. 020012, 2022, doi: 10.1063/5.0110231.
- [23] C. S. Kumar, C. Puttamadappa, and Y. L. Chandrashekar, “Power quality enhancement in grid-connected PV structure using Z source inverter and seagull optimization algorithm,” *Intell. Syst. A STEP Towar. SMARTER Electr. Electron. Mech. Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ind. Electron. Mechatronics, Electr. Mech. Power (IEMPOWER), 2021.*, vol. 2640, no. September, p. 020013, 2022, doi: 10.1063/5.0110515.
- [24] S. Khandai, D. Jasper, K. Adhikari, P. Kumbhakar, P. Kumbhakar, and N. K. Roy, “Investigation of dielectric properties of blended ester oils and dielectric fluids used in transformer at different temperatures,” *Intell. Syst. A STEP Towar. SMARTER Electr. Electron. Mech. Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ind. Electron. Mechatronics, Electr. Mech. Power (IEMPOWER), 2021.*, vol. 2640, no. September, p. 020004, 2022, doi: 10.1063/5.0117874.
- [25] R. Tiwari and A. R. Kulkarni, “Variable speed control of EV using I2V communication,” *Intell. Syst. A STEP Towar. SMARTER Electr. Electron. Mech. Eng. Proc. 2nd Int. Conf. Ind. Electron. Mechatronics, Electr. Mech. Power (IEMPOWER), 2021.*, vol. 2640, no. September, p. 020011, 2022, doi: 10.1063/5.0112517.
- [26] U. Sajjad, M. Amer, H. Muhammad, and A. Dahiya, “Case Studies in Thermal Engineering Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency,” *Case Stud. Therm. Eng.*, 2019.