

Variasi Suhu Pada Pengolahan Limbah Sludge IPAL Tekstil dengan Teknologi Pirolisis 2 Fire Channel 500L

M. Noviansyah Aridito ¹⁾, Endah Ayuningtyas ²⁾, Yulanda K.P ³⁾, Habib A N ⁴⁾

^{1),3),4)} Teknik Lingkungan Universitas Proklamasi 45 , Babarsari Yogyakarta 55781

²⁾ Teknik Lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta , Jl.Janti km.4 Yogyakarta 55198
email penulis kedua : endaha25@ity.ac.id

***korespondensi penulis : noviansyaharidito@up45.ac.id**

ABSTRAK

Pertumbuhan industri tekstil kian meningkat menghasilkan limbah *sludge* berupa lumpur dari IPAL tekstil. Limbah IPAL Industri Tekstil berupa *Sludge* atau lumpur yang harus dilakukan penanganan dan pengolahan. Volume timbulan limbah *sludge* pada beberapa industri tekstil bisa mencapai lebih dari 3 ton perbulan sehingga perlu dikelola oleh pihak ketiga. Pihak ketiga memerlukan upaya pengolahan limbah *sludge* dengan pendekatan teknologi. Teknologi termal merupakan salah satu pendekatan teknologi guna melakukan pengolahan *sludge* dari IPAL tekstil. Pirolisis merupakan salah satu teknologi termal untuk menguraikan limbah termasuk *sludge* IPAL tekstil. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal material tanpa kehadiran oksigen sehingga material terurai menjadi partikel yang lebih sederhana. Pirolisis beroperasi pada rentang suhu 250°C-600°C dan umumnya menghasilkan produk padatan arang (karbon, cairan (minyak) dan gas hidrokarbon mudah terbakar.

Pada penelitian ini dilakukan upaya pengolahan limbah *sludge* IPAL tekstil dengan pendekatan teknologi pirolisis. Pirolisis yang digunakan yakni pirolisis dengan 2 *fire channel* yakni terdapat 2 jalur api sebagai pemanas dan ukuran reaktor 500 liter dengan tipe *fixed bed*. Variasi suhu dilakukan dengan suhu 400°C dan 600°C dengan waktu selama 4 jam (240menit). Data yang diperoleh berupa profil suhu dan hasil produk cair dan gas yang dihasilkan serta rendemen padatan. Dilakukan pula pengukuran neraca massa pada proses pirolisis dari hasil dekomposisi *sludge* IPAL tekstil. Hasil menunjukkan bahwa proses pirolisis dengan suhu 600°C relatif lebih baik dalam memproses *sludge* tekstil dengan hasil berupa padatan karbon sebesar 19,2%; cairan 38,2% dan padatan tidak terproses sebesar 12,4% serta padatan tercampur sebesar 3,8%.

Kata kunci: Limbah, *Sludge*, Tekstil, Pirolisis, Suhu

Temperature Variations in Textile WWTP Sludge Waste Processing with 2 Fire Channel 500L Pyrolysis Technology

ABSTRACT

The increasing growth of the textile industry produces sludge waste in the form of sludge from textile wastewater treatment plants. Textile Industry WWTP waste is in the form of sludge or sludge which must be handled and processed. The volume of sludge waste generated in some textile industries can reach more than 3 tons per month so it needs to be managed by a third party. Third parties require efforts to process sludge waste using a technological approach. Thermal technology is one technological approach for processing sludge from wastewater treatment plants in the textile industry. Pyrolysis is a thermal technology to decompose waste including textile wastewater sludge. Pyrolysis is a thermal decomposition process of material without the presence of oxygen so that the material decomposes into simpler particles. Pyrolysis operates in the temperature range of 250°C-600°C and generally produces solid charcoal (carbon), liquid (oil) and hydrocarbon gas products that are capable of burning.

In this research, efforts were made to process textile wastewater treatment plant sludge using a pyrolysis technology approach. The pyrolysis used is pyrolysis with 2 fire channels, namely there are 2 fire lines as heaters and the reactor size is 500 liters with a fixed bed type. Temperature variations were carried out at 400°C and 60°C for 4 hours (240minutes). The data obtained is in the form of temperature profiles and yields of liquid and gas products produced as well as solids yields. Mass balance measurements were also carried out in the pyrolysis process from the decomposition of Textile WWTP sludge. The results show that the pyrolysis process at a temperature of 600C is relatively better in processing Tektstil sludge with carbon solids of 19.2%, liquid 38.2% and unprocessed solids of 12.4% and also mixed solid 3,8%.

Keywords: Waste, Sludge, Textile, Pirolisis, Temperature

PENDAHULUAN

Sludge Industri Tekstil merupakan hasil samping dari proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang tergolong ke dalam limbah B3, sludge yang dihasilkan dari IPAL dapat menimbulkan masalah berupa berkurangnya ruang penyimpanan sludge serta mengganggu estetika lingkungan pabrik. Limbah pabrik industri tekstil sering menjadi sumber pencemaran yang dapat mengganggu aktivitas dan kesehatan masyarakat khususnya di lingkungan sekitar pabrik. Selama ini sludge limbah industri tekstil belum diolah dan dibiarkan begitu saja sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

Permasalahan limbah dari sludge IPAL tekstil merupakan salah satu masalah yang harus segera diberikan solusi. Hal ini akan berdampak pada masalah pada kualitas air, tanah dan udara. Hal ini dapat diperparah dengan meningkatnya volume produksi tekstil dengan adanya kebutuhan di masyarakat sehingga diperlukan penelitian berkaitan dengan limbah sludge IPAL tekstil. Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui proses pengolahan menggunakan teknologi termal yakni pirolisis untuk memproses limbah sludge IPAL tekstil akan memberikan dampak baik secara pengetahuan maupun terapan sehingga dapat dihadirkan solusi berkaitan dengan sludge IPAL tekstil yang terus meningkat jumlahnya.

Kegiatan industri disamping bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan, ternyata juga menghasilkan limbah sebagai pencemar lingkungan. Limbah pabrik industri tekstil sering menjadi sumber pencemaran yang dapat mengganggu aktivitas dan kesehatan masyarakat khususnya di lingkungan sekitar pabrik. Selama ini sludge limbah industri tekstil belum diolah dan dibiarkan begitu saja sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Industri tekstil pada umumnya menghasilkan produk-produk tekstil untuk keperluan pakaian (clothing), karpet (carpeting), dan produk tekstil untuk keperluan lain seperti taplak meja, seprai, tirai, dan lain-lain. Industri ini merupakan salah satu jenis industri yang mengeluarkan limbah berupa limbah padat atau limbah cair. Senyawa yang terdapat dalam limbah cair industri tekstil biasanya ada yang merupakan senyawa berbahaya dan tidak berbahaya.

Senyawa yang berbahaya bagi kehidupan adalah senyawa yang bersifat toksik. Contoh senyawa yang dikeluarkan oleh industri tekstil adalah logam berat, diantaranya adalah Cr, Ni, Cu, Mn, Pb .

Alat pirolisis yakni alat termoproses untuk memproses bahan biomassa dan turunan hidrokarbon dalam kondisi hampa/minim udara/oksigen. Alat ini memungkinkan terjadinya proses degradasi termal/pemecahan material secara termal pada suhu tinggi sehingga menghasilkan bahan cair dan gas pirolisis serta menyisakan arang/*char* pada reaktornya. Lebih khusus invensi ini, yaitu alat pirolisis yang memiliki jalur lorong api (bisa lebih dari 2 jalur) sebagai sumber panas yang diantarkan ke ruang material dengan kondensor (bisa lebih dari 1 tingkat) dan pembersih gas (opsional rekomendasi). Alat ini digunakan untuk menunjang kebutuhan industri pengolahan biomassa, limbah biomassa, sampah organik, sampah plastik, sampah residu menjadi biokarbon (*Biochar*) dan Asap Cair/minyak plastik yang didesain dengan menggunakan jalur api sebagai pemanas dalam pengoperasiannya, sehingga lebih efektif beroperasi pada berbagai rentang suhu, proses cepat, proses tertutup, bersih dan ramah lingkungan dan hemat (efisien) untuk penerapan di dunia industri atau proses pengolahan limbah padat dan sejenisnya.

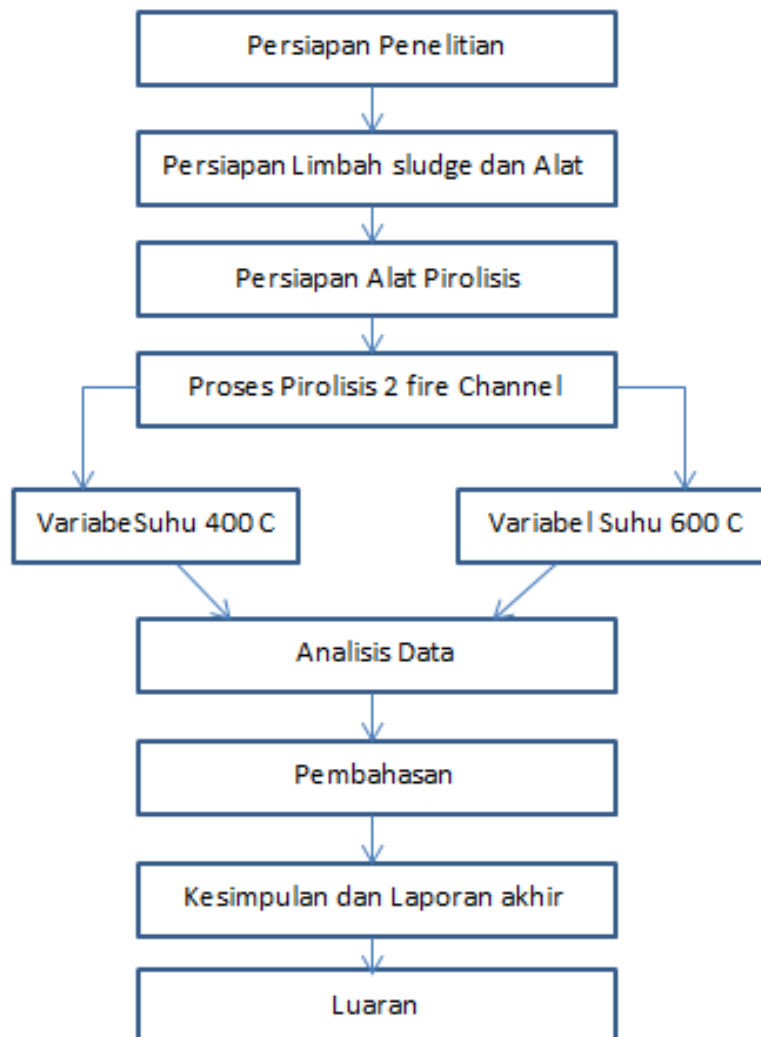
Teknologi pirolisis merupakan proses pemecahan material secara termal (Degradasi Termal) tanpa oksigen (minim oksigen) dengan suhu 250⁰C hingga lebih dari 600⁰C untuk memecah material menjadi gas volatil yang kemudian dikondensasi pada ruang kondensor menjadi bahan cair. Gas yang tidak dapat mencair (*uncondensable gas*) kemudian dialirkan ke ruang pembersih gas (*Gas Cleaning*) yang di desain khusus agar gas dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau bahan kimia.

Teknologi Dongso Pyrocrack memiliki kemampuan kerja pada berbagai rentang suhu mulai suhu rendah 250⁰C, menengah 450⁰C-550⁰C hingga tinggi di atas 700⁰C dengan konstruksi khusus yang dilengkapi *double layer* sehingga kuat dan aman. Pemanasan dilakukan secara konduksi dan radiasi dari jalur api yang dipanaskan sehingga material bahan baku tidak terkena api secara langsung namun terpanaskan secara konduksi dan radiasi dan mengalami pemecahan/perengkahan material menjadi gas pirolisis selama waktu proses hingga menyisakan karbon/*char*. Gas yang terbentuk dari material bahan baku kemudian mengalir/dialirkan ke ruang unit pengembunan/kondensasi dengan desain khusus sehingga mengubah senyawa yang terkondensasi menjadi kondensat/bahan cair. Sistem kondensasi mengadopsi konsep *shell&tube* dengan desain khusus dengan minimal 2 tahapan kondensasi dengan 2 unit kondensor. Gas dari reaktor akan mengalir pada kondensor pertama menghasilkan bahan cair dan gas takter kondensasi pada unit kondensor pertama. Gas dari kondensor pertama akan mengalir pada kondensor kedua dan akan mengalami kondensasi menghasilkan kondensat/bahan cair pada ruang penampungan bahan cair kondensor kedua. Gas yang tidak terkondensasi pada kondensor kedua akan mengalir pada sistem pembersih gas. Pada unit sistem pembersih gas dilakukan proses pembersihan gas dengan metode *wet scrubber* dilengkapi filter untuk mendapatkan gas yang relatif bersih sebelum di lepas ke lingkungan sekitar sebagai bahan bakar atau sebagai bahan senyawa kimia untuk proses lebih lanjut.

Teknologi Dongso Pyrocrack 500 L memungkinkan memproses berbagai jenis limbah padat menjadi produk arang (*char*), bahan cair dan gas pirolisis. Produk yang dihasilkan tergantung dari material yang masuk pada reaktor. Material biomassa akan menghasilkan arang (*char*), asap cair (*liquid smoke*) dan gas pirolisis mudah terbakar. Material plastik, kulit, karet dan sejenisnya akan menghasilkan arang (*char*), bahan cair berupa minyak pirolisis dan gas pirolisis. Minyak pirolisis memiliki berbagai jenis karakter sesuai material yang dipecah di dalam reaktor, suhu proses, waktu proses dan jumlah kondensor. Minyak plastik memiliki nilai kalor dan mudah terbakar dengan karakteristik rentang seperti minyak mentah (*crude*), kerosene, solar, ataupun bensin.

METODE PENELITIAN

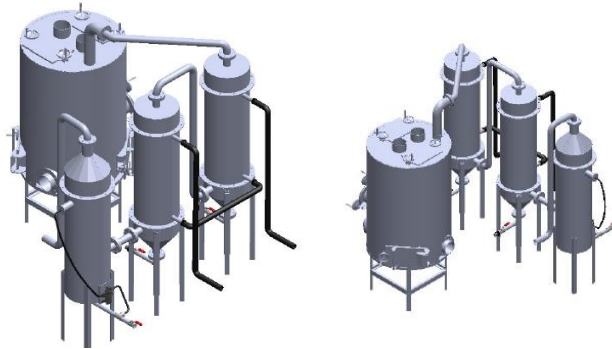
Tahapan penelitian seperti pada Gambar 1 dilakukan mulai dari persiapan penelitian, persiapan alat dan bahan, proses pirolisis dengan variasi suhu 400⁰C dan 600⁰C, melakukan pengambilan data, analisis data dan pembahasan, membuat kesimpulan dan laporan akhir serta membuat luaran. Pada persiapan bahan digunakan slugde IPAL yang diperoleh dari PT. Agha Bumi Nusantara sebanyak 500 Liter sesuai dengan voluem reaktor. Pengaturan suhu dilakukan dengan burner semi otomatis untuk mengatur suhu puncak. Data yang diperoleh berupa profil suhu proses, volume cairan, rendemen dan bentuk padatan, serta gas bakar.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Alat yang digunakan adalah teknologi pirolisis dengan 2 *fire channel*, 2 buah burner semi otomatis, penampung cairan, perlengkapan K3, bahan baku yang digunakan adalah *sludge* IPAL tekstil dan oli bekas sebagai bahan bakar. Peralatan yang digunakan yakni berupa reaktor pirolisis dengan 2 *fire channel* berlawanan sebagai sumber pemanasan, 2 kondensor dan 1 unit *gas cleaning* dengan *wet scrubber*. Kapasitas reaktor yakni 500 Liter/Batch. Burner yang digunakan yakni burner khusus semi-otomatis untuk bahan bakar cair dengan tekanan udara

dari kompresor sebesar 2-4 bar dengan pengatur temperatur sehingga temperatur puncak dapat dikontrol. Reaktor di desain khusus dengan 2 layer dan isolator panas dari *glasswool*.



Gambar. 2. Alat Pirolisis dengan 2 *Fire Channel*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan teknologi pirolisis *double fire channel* 500 L dengan dua jalur api, unit kondensor pendingin dan pembersih gas. Material *sludge* disiapkan untuk memenuhi bagian reaktor. Persiapan dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yakni set reaktor dongso pirolisis 500 L dengan unit kondensor dan unit pembersih gas. Burner disiapkan dengan bahan bakar oli bekas dan tekanan udara dari kompresor. Air diisi pada bagian kondensor, semua katup ditutup dan bahan baku *sludge* limbah tekstil dimasukkan ke bagian reaktor untuk pengujian pada suhu puncak 400⁰C. Material *sludge* yang sudah masuk pada reaktor di tutup rapat dan burner dinyalakan dengan seting suhu maksimal di 400⁰C. Pengamatan dilakukan pada bagian suhu, output kondensor berupa bahan cair dan output pembersih gas berupa gas mempan bakar.



Gambar 3 Persiapan Peralatan Pirolisis 500 L 2 *Fire Channel*



Gambar 4. *Sludge* Tekstil

Hasil dari proses Pirolisis dengan menggunakan suhu puncak 400⁰C adalah sebagai berikut :

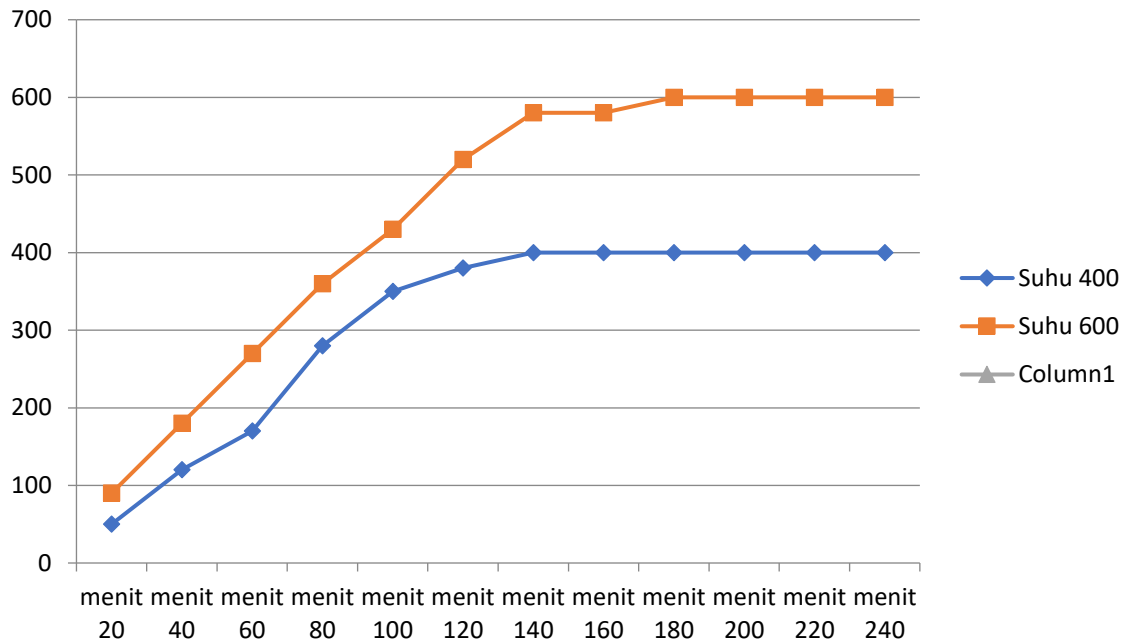
Tabel 1. Proses Pirolisis Suldge Tekstil pada Suhu Puncak 400⁰C

Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Cairan	Padatan	Gas
20	50	-		Gas belum muncul
		Mulai menetes uap air terkondensasi- 100ml		Gas mulai muncul berupa uap air , tidak terbakar
40	120	Mulai keluar cairan hitam, tidak mempan bakar,		Gas mulai muncul berupa uap air , tidak terbakar
60	170	Keluar cairan pekat dan berminyak		Gas mulai mempan bakar
80	280	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
100	350	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
120	380	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
140	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala terbakar
160	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala terbakar
180	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala
200	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		

220	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala
240	400	Cairan pekat berminyal, mempan bakar	Padatan diukur setelah dingin	Gas Masih menyala

Tabel 2. Proses Pirolisis *Sludge* pada Suhu Puncak 600⁰C

Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Cairan	Padatan	Gas
20	90	-		Gas belum muncul
40	180	Mulai menetes uap air terkondensasi- 100ml		Gas mulai muncul berupa uap air , tidak terbakar
60	270	Mulai keluar cairan hitam, tidak mempan bakar,		Gas mulai muncul berupa uap air , tidak terbakar
80	360	Keluar cairan pekat dan berminyak		Gas mulai mempan bakar
100	430	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
120	520	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
140	580	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas mulai mempan bakar
160	580	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala terbakar
180	600	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala terbakar
200	600	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala
220	600	Cairan pekat berminyal, mempan bakar		Gas masih menyala
240	600	Cairan pekat berminyal, mempan bakar	Padatan diukur setelah dingin	Gas Masih menyala



Gambar 5. Profil Suhu Proses Pirolisis Suhu 400⁰C dan 600⁰C untuk Limbah *Sludge* Tekstil

Berdasarkan hasil uji coba pada Gambar 5. diketahui bahwa proses pada suhu 400⁰C menunjukkan laju pemanasan yang lebih rendah dibandingkan suhu pada 600⁰C sehingga terlihat pada profil suhu lebih landai dibandingkan pada suhu 600⁰C. Hal ini berdampak pada hasil proses berupa jumlah cairan yang dihasilkan pada proses 32,4% dan pada suhu 600⁰C menghasilkan 38,2%. Hasil setelah proses juga menunjukkan padatan terproses sempurna menjadi karbon pada suhu 400⁰C lebih sedikit yakni sebesar 11% dan pada suhu 600⁰C terproses karbon sebesar 19,2%. Padatan tidak terproses sebesar 26,00% pada proses suhu 400⁰C dan 12,4% pada suhu 600⁰C. Hal ini menunjukkan bahwa laju pemanasan dan suhu puncak pada proses *sludge* tekstil yang relatif basah dan berminyak berpengaruh pada proses pirolisis dan hasilnya. Proses pada suhu 600⁰C dengan waktu 240 menit relatif lebih baik dalam memproses *sludge* di tunjukkan dengan adanya jumlah karbon lebih banyak, padatan tak terproses lebih sedikit, cairan total lebih banyak dan gas terlepas yang lebih banyak. Teknologi pirolisis pada proses suhu 600⁰C selama 240 menit menunjukkan hasil yang relatif baik untuk memproses limbah *sludge* tekstil. Hal ini sesuai dengan proses pirolisis yang dilakukan pada suhu dan laju pemanasan lebih tinggi menghasilkan karbon, cairan dan gas lebih banyak (Endah A, 2019); (M.NAridito, 2019); (Endah A, 2022) (M.NAridito, 2017) .

Tabel 3. Perbandingan Karakteristik Padatan Karbon pada Suhu Puncak 400⁰C dan 600⁰C

No	Item	Suhu 400 ⁰ C	Suhu 600 ⁰ C
1	Massa Awal <i>Sludge</i>	80 kg	80 kg
2	Padatan Tak Terproses	20,8 kg	9,92 kg
3	Padatan Karbon	8,8 kg	15,36 kg
4	Padatan Mix	7,68 kg	3,04 kg
5	Total Padatan	37,28 kg	28,32 kg
6	Cairan Total	25,92 kg	30,56 kg
7	Gas Terlepas	16,8 kg	21,12 kg



Gambar 6. Padatan Karbon Hasil Proses

Tabel 4. Perbandingan dalam Persentase Proses

No	Item	Suhu 400°C	Suhu 600°C
1.	Massa Awal <i>Sludge</i>	80kg	80kg
2.	Padatan Tak Terproses	26,00%	12,40%
3.	Padatan Karbon	11,00%	19,20%
4.	Padatan Mix	9,60%	3,80%
5.	Total Padatan	46,60%	35,40%
6.	Cairan Total	32,40%	38,20%
7.	Gas Terlepas	21,00%	26,4%

KESIMPULAN

Pirolisis limbah IPAL tekstil berupa *sludge* dilakukan pada reaktor pirolisis dengan *2-fire channel* kapasitas 500 liter dengan suhu 400°C dan 600°C per batch. Setiap batch mampu memproses 80kg *sludge* selama 240menit (4jam). Secara umum *sludge* IPAL Tekstil melalui Teknologi pirolisis terproses konversi menjadi Padatan Karbon, Cairan, dan Gas pempan bakar , namun juga masih menghasilkan padatan tak terproses (*sludge* kering) dan padatan tercampur (*Sludge* kering&karbon) antara tak terproses (*sludge* kering) dan karbon, Secara umum, pirolisis *sludge* IPAL tekstil pada suhu 600°C menghasilkan padatan karbon lebih banyak, cairan lebih banyak dan gas terlepas lebih banyak, sehingga padatan tak terproses dan tercampur lebih sedikit daripada pirolisis pada suhu 400°C sehingga Pirolisis *sludge* IPAL tekstil dengan reactor 500 liter dengan *2-fire channel* sebanyak 80kg/batch lebih banyak terproses konversi pada suhu 600°C dibanding 400°C dengan persentase padatan karbon 19,2%, cairan 38,2% , gas 26,45 , padatan tak terproses 12,4% dan padatan campuran 3,8%. Suhu puncak yang lebih tinggi pada proses *sludge* tekstil yang relatif basah dan berminyak berpengaruh pada proses pirolisis dan hasilnya. Proses pada suhu 600°C dengan waktu 240 menit relatif lebih baik dalam memproses *sludge* di tunjukkan dengan adanya jumlah karbon lebih banyak, padatan tak terproses lebih sedikit, cairan total lebih banyak dan gas terlepas yang lebih banyak sehingga pirolisis pada suhu 600C menunjukkan hasil relatif baik memproses *sludge* IPAL tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] As'ari, 2011., Pengaruh Slow Pirolisis pada Saat Karbonisasi Terhadap Kualitas Karbon Tempurung Kelapa” Jurnal Ilmiah Sains., Vol II No 2
- [2] Li Ang, et al. 2016. Effect of Temperature and Heating Rate on The *Characteristic* of Moulded Bio-Char. *Journal of Bioresources* 11(2) 3259-3274

- [3] Basri, Syamsul. 2007. Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu untuk Pembuatan Briket Arang Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam
- [4] Besler, S., dan William, P.T., 2014. The Influence of Temperature and Heating Rate on Slow Pyrolysis of Biomass". *Journal of Renewable Energy*. 7,233-250
- [5] Brown, Robert. 2012. *Thermochemical processing of biomass conversion into Fuels, Chemical and Power*. United Kingdom : Willey
- [6] Chaurasia, A.S dan B.V. Babu. 2005, *Modelling & simulation of pyrolysis of Biomass: Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperature and Particle Size on Product Concentration*, India : Pillani
- [7] Clark, James dan Macquarrie, Duncan. 2012. *Handbook of Green Chemistry & Technology*. United Kingdom : Blackwell Publishing
- [8] Dini Rahmaulina. E. Hartatai, Dyah M 2022. Studi Pendahuluan Pemanfaatan Sludge IPAL Industri Tekstil sebagai bahan baku Briket. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol 23. No.1 2022
- [9] Danang, Dwisaputro dkk, 2012. Karakterisasi Briket Dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon Dengan Metode Cetak Panas. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains Dan Teknologi Periode III
- [10] Daud Patabang, 2012. Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Meranti. *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Taduloka
- [11] Emi Erawati dkk, 2015. Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Pada Distilasi Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Serbuk Gergaji Kayu. Seminar Nasional Teknologi Kimia, Industri dan Informasi II
- [12] Endah Ayuningtyas, M. Noviansyah Aridito. 2019. Studi Karakteristik Pirolisis dan Arang dari Briket Serbuk Kayu dengan Variasi Laju Pemanasan menggunakan Metode Pirolisis Single Rocket Stove. *Jurnal Rekayasa Lingkungan* Vol 19 No.1 <https://doi.org/10.37412/jrl.v19i1.12>
- [13] Endah Ayuningtyas, M. Noviansyah Aridito. 2022. Karakteristik Arang dari Limbah Serbuk Kayu dengan Variasi Laju Pemanasan dan Laju Hisap Gas sebagai Adsorben dengan Pirolisis Twin Retort. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. Vol 22 No.2 <https://doi.org/10.37412/jrl.v22i2.149>
- [14] Hookway, James. 2011. *The Hookway Charcoal Retort*.
- [15] Klass, Donald. 1998. *Biomass for Renewable energy, fuels and chemicals*. California: Academic press
- [16] Lopez, A., de Marco, I., Laresgoiti, M.F., Adrados, A., 2011. "Influence of Time and Temperature on Pyrolysis of Plastic Wastes in Semi-Batch Reactor" *Chemical Engineering Journal*. 173, 62-71.
- [17] M. Noviansyah Aridito, M. Sigit Cahyono, 2019. Pengaruh Laju Pemanasan dan Laju Hisap Gas Pada Proses Pirolisis Twin Retort Rocket Stove terhadap Bioarang dari Briket Limbah Serbuk Kayu . Prosiding SENIATI 2019 Vol 5 No 4 Hal 262-271. <https://doi.org/10.36040/seniati.v5i4.1188>
- [18] M. Noviansyah Aridito. 2017. The Influence of Particle Size and Fuel Consumption Rate on Oil Characteristic from Pyrolysis of Aluminium Foil Coated Polyethylene (Al-PE) Waste. *Conserve : Journal of Energy and Environmental Studies*. Vol 1 No.1 2017. <https://doi.org/10.30588/cjees.v1i1.250>
- [19] Oumingaa, S.k., Rogaume, T., Sougouti, M., Commandre, J.M., Koulidiati, J., 2009. "Experimental characterization of gaseous species emitted by the fast pyrolysis of biomass and polyethylene". *Journal of Analytic and Applied Pyrolysis* 86. 260-268
- [20] Purwanti, Ani dan Sumarni, 2008, "Kinetika Reaksi Pirolisis Low Density Polietilena" *Jurnal Teknologi* Vol. 1, No. 2., Desember 135-140.
- [21] Ramadhan, M.A.A., 2014. *Pengaruh Variasi Suhu Pada Yield Minyak Hasil Pirolisis Plastik*, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta
- [22] Surono, Budi Untoro. 2010. Peningkatan Kualitas Pembakaran Biomassa Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Karbonisasi dan Pembriketan. *Jurnal Teknik Mesin* Universitas Janabadra.

- [23] William, P.T . 1994. "Analysis and Application of Pyrolysis". *Journal of Renewable Energy* 29, 111-128
- [24] Yudanta,Angga. 2013. Pembuatan Briket Bioarang dari arang serbuk gergaji kayu jati. Skripsi Universitas Diponegoro.