

Perancangan Desain *Portable Fixed-Bed Composite Adsorber Column* sebagai Media Pemurnian Biodiesel dengan Sistem *Packing Bed*

Mohammad Prasanto Bimantio^{*}, Herawati Oktaviany, Reza Widyasaputra

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian STIPER Yogyakarta
Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

Abstrak

Crude biodiesel membutuhkan proses pemurnian yang tepat dimana harus memenuhi spesifikasi standar biodiesel internasional sehingga layak digunakan oleh konsumen. Selain itu pemurnian biodiesel bertujuan untuk memperpanjang umur simpan biodiesel sebelum digunakan. Permasalahan utama yang sering muncul pada proses pencucian adalah emulsifikasi dan oksidasi. Penggunaan adsorben secara umum bertujuan untuk penyerapan (mengadsorpsi) komponen-komponen bahan pengotor dalam minyak atau senyawa trigliserida. Kolom adsorpsi yang banyak digunakan adalah berbentuk kolom fix bed dengan isian kolom yang bertumpuk berantakan. Hal ini menyulitkan pada saat pembersihan dan pengisian adsorben, selain itu tumpukan adsorben yang tidak teratur akan menghambat proses aliran fluida yang ingin dimurnikan. Produk penelitian ini adalah desain alat *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* yang terdiri dari 3 bagian, yaitu: top distributor, packing bed, dan bottom collector. Prinsip dari ketiga bagian tersebut adalah seperti puzzle yang dapat diatur jumlah packing bed-nya mengikuti kebutuhan pemurnian yang diinginkan. Ketiga bagian alat tersebut dihubungkan dengan ulir sehingga dapat dibongkar pasang sesuai keinginan. Bahan utama dari alat tersebut adalah PLA, namun dapat pula dibuat dari bahan lain sesuai kebutuhan misalnya stainless steel, kaca, atau akrilik. Alat ini harapannya dapat memenuhi kebutuhan pemurnian biodiesel berbasis adsorpsi yang mudah, murah, dan dapat dikustomisasi sesuai dengan jenis adsorben yang diinginkan. Desain alat ini dapat diduplikasi untuk proses pemurnian lain berbasis adsorpsi, seperti pemurnian bioethanol, air limbah, dsb.

Kata kunci: biodiesel; adsorpsi; kolom fix bed; filter; desain alat

Abstract

[Title: Designing a Portable Fixed-Bed Composite Adsorber Column as a Biodiesel Purification Media with Packing Bed System] Crude biodiesel requires a precise refining process that meets the international biodiesel standard specifications so that it is suitable for usage. Biodiesel purification aims to extend the shelf life of biodiesel. The main problems that often arise in the washing process are emulsification and oxidation. The use of adsorbents is to absorb the components of impurities in oil or triglyceride compounds. The adsorption column widely used is in the form of a fixed bed column with a messy piled up column. This makes it difficult when cleaning and filling the adsorbent. On the other hand, the irregular pile of adsorbent will obstruct the fluid's flow to be purified. This research's product is the design of the *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column*, which consists of 3 parts, namely: top distributor, packing bed, and bottom collector. The principle of these three parts is analog as a puzzle where the number of packing beds can be adjusted according to the desired purification requirements. The three parts of the column are connected by threads so that they can be assembled as desired. The column is made of PLA, but it can also be made of other things like stainless steel, glass, or acrylic. This column design employs to meet the needs of easy, inexpensive, and customizable adsorption-based biodiesel purification. The design of this column can be duplicated for other purification processes based on adsorption, such as purification of bioethanol, wastewater, etc.

^{*}) Penulis Korespondensi.
E-mail: bimantiomp@instiperjogja.ac.id

Keywords: biodiesel; adsorption; fixed bed column; equipment design

1. Pendahuluan

Biodiesel diperoleh dari proses transesterifikasi minyak nabati dengan rantai -OH pendek, dengan atau tanpa menggunakan katalis. Banyak kontaminan yang masih terkandung dalam *crude* biodiesel, tergantung pada teknologi transesterifikasi yang digunakan. Impuritas seperti sisa metanol, gliserol, sabun, katalis, fosfolipid, air dan gliserida yang tidak bereaksi masih dapat ditemukan, dimana dapat berakibat buruk pada kinerja mesin sehingga impuritas harus dihilangkan (Berrios & Skelton, 2008; Shibasaki-Kitakawa *dkk.*, 2013).

Crude biodiesel membutuhkan proses pemurnian yang tepat dimana harus memenuhi spesifikasi standar biodiesel internasional (ASTM D6751) sehingga layak digunakan oleh konsumen. Selain itu pemurnian biodiesel bertujuan untuk memperpanjang umur simpan biodiesel sebelum digunakan. Proses pemurnian *crude* biodiesel cenderung kompleks dan biasanya melalui 2 tahapan proses yaitu *wet washing* dan *dry washing*. Proses pemurnian biodiesel dengan penggunaan air (Wang *dkk.*, 2006), dilakukan karena bahan pengotor yang memiliki sifat polar sehingga mudah diikat oleh air. Namun, penggunaan air tidak dapat mengikat bahan yang bersifat non polar (sabun). Selain itu metode pencucian dengan air memiliki kelemahan yaitu membutuhkan waktu proses yang lama (dapat mencapai 2.5 jam), membutuhkan air dalam jumlah besar dan menghasilkan limbah berupa emulsi sabun, gliserol, metanol yang tidak bereaksi, dan katalis dalam jumlah besar yang tidak dapat dibuang begitu saja ke lingkungan. Jumlah limbah cair yang dihasilkan yaitu sekitar 30 persen dari jumlah biodiesel yang dihasilkan. Disamping itu, pada metode ini harus dilakukan proses pengeringan pada biodiesel yang telah dicuci untuk menguapkan air sisa pencucian yang terkandung di dalam biodiesel (Bryan, 2005).

Permasalahan utama yang sering muncul pada proses pencucian adalah emulsifikasi dan oksidasi. Emulsifikasi menyebabkan sulitnya proses pemisahan antara air dan biodiesel. Reaksi oksidasi dapat menyebabkan terjadinya polimerisasi yang akan membentuk hidroperoksida yang merusak barang-barang bersifat elastomer (Argo & Djoyowasito, 2008).

Pemurnian *crude* biodiesel biasanya membutuhkan 2 tahapan yaitu *wet washing* dan *dry washing*. Dalam proses *wet washing*, untuk setiap 100 liter biodiesel yang diproduksi, sekitar 20 liter air limbah akan dihasilkan (Atadashi *dkk.*, 2011a). Kadar air setelah dilakukan proses *wet washing* adalah sekitar 0,15% dimana masih di atas standar maksimal (0,05%) sehingga diperlukan proses sentrifugasi atau pengeringan selanjutnya dalam kondisi vakum. Air limbah harus diolah sebelum pembuangan akhir untuk

mengurangi dampak lingkungan karena karakteristik fisikokimia yang dimilikinya yang dicirikan dengan tingginya nilai Ph, COD, BOD, lemak dan minyak, serta membutuhkan bahan yang sulit dan mahal dalam penanganannya sehingga meningkatkan biaya operasional (Atadashi *dkk.*, 2011b). Kendala pada proses *wet washing* dapat diatasi dengan penggunaan proses *dry washing*. Proses *dry washing* ini membutuhkan mixing unit dan adsorben yang digunakan harus mudah dibuang (Atadashi *dkk.*, 2011a).

Penggunaan adsorben secara umum bertujuan untuk penjerapan (mengadsorpsi) komponen-komponen bahan pengotor dalam minyak atau senyawa trigliserida (Foletto, Volzone & Porto, 2006). Beberapa penelitian yang telah dilakukan, antara lain yaitu Widayat dan Haryani (2006) tentang proses adsorpsi minyak goreng bekas dengan adsorben zeolit, Purwadi *dkk.* (1998) tentang pemanfaatan zeolit alam Indonesia sebagai adsorben limbah cair dan media fluidasi dalam kolom fluidasi, dan Purwaningsih *dkk.* (2000) tentang pemanfaatan arang aktif cangkang kelapa sawit sebagai adsorben pada limbah cair kayu lapis.

Proses adsorpsi juga dapat digunakan dalam proses pemurnian biodiesel. Hal ini telah dilakukan oleh Bryan (2005) yang menggunakan adsorben magnesium silikat sintetis (magnesol) dalam proses pemurnian biodiesel. Namun, adsorben tersebut umumnya masih harus diimpor. Oleh karena itu, dibutuhkan adsorben lokal yang dapat mensubstitusi penggunaan adsorben tersebut dalam memurnikan biodiesel. Bentonit merupakan bahan mineral lokal yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku industri dengan lebih dari 25 aplikasi (Murray, 1999), diantaranya adalah produksi adsorben selektif (Barrer, 1989), katalis (Pinnavaia, 1983), dan obat-obatan (Moosavi, 2017).

Menurut Ketaren (1986), zat warna dalam minyak akan diadsorpsi oleh permukaan adsorben. Adsorben juga akan menyerap suspensi koloid (gum dan resin), asam lemak bebas serta hasil oksidasi minyak seperti peroksida. Adsorben yang dapat digunakan untuk menghilangkan kotoran dalam minyak antara lain bentonit, arang aktif, magnesium silikat, talk, atapulgit, aluminium silikat, dan kapur. Adsorben yang digunakan dalam proses pemurnian terdiri dari tipe polar (hidrofilik) dan non polar (hidrofobik). Adsorben polar antara lain silika gel, alumina yang diaktivasi dan beberapa jenis tanah liat (*clay*). Adsorben tipe ini umumnya digunakan jika zat warna yang akan dihilangkan lebih polar dari cairannya. Adsorben non polar antara lain arang (karbon dan batubara) dan arang aktif, yang biasa digunakan untuk menghilangkan zat warna yang kurang polar (Kirk *dkk.*, 1978).

Adsorpsi pengotor biodiesel pada penelitian terdahulu yang dilakukan Saiful *dkk.*(2012) menggunakan prinsip filtrasi membrane magnesol dari polimer kitosan sebagai media pemurnian biodiesel terhadap gliserol total, namun membran ini cenderung memiliki selektifitas yang tinggi sehingga tidak mampu membuang semua bahan pengotor. Bentuk membrane lain yang dikembangkan adalah membrane hidrofobik berbasis silika yang sangat selektif pada proses pemisaahan air dari minyak (Oktavian *dkk.*, 2019).

Kolom adsorpsi yang banyak digunakan adalah berbentuk kolom *fix bed* dengan isian kolom yang bertumpuk berantakan. Hal ini menyulitkan pada saat pembersihan dan pengisian adsorben, selain itu tumpukan adsorben yang tidak teratur akan menghambat proses aliran fluida yang ingin dimurnikan.

Beberapa desain kolom adsorpsi terdahulu masih menggunakan sistem satu kolom secara utuh dengan ketinggian tertentu dan bahan isian dimasukkan secara sembarang. Desain kolom adsorpsi yang dirancang oleh Katherine dan Arie (2016) masih menggunakan kaca yang ringkih dan berbentuk satu kolom vertikal sepanjang 30 cm dengan diameter 4 cm. Pembersihan kolom harus membogkar seluruh isi adsorben yang ada di kolom dan bentuk seperti ini tidak bisa dikustomisasi baik dari segi dimensi maupun kemudahan *scale-up*.

Mutiari *dkk.*, (2013) menggunakan kolom adsorpsi dengan metode penukaran ion melalui resin untuk pemurnian biogas menggunakan satu kolom vertikal berbahan *stainless steel* 304 dengan diameter 254 mm dan tinggi 1350 mm. Bahan ini secara durabilitas sangat baik, namun dari segi portabilitas cukup berat dan sangat tinggi dalam biaya pembuatannya. Hal serupa juga seperti kolom adsorpsi yang didesain oleh Rambe *dkk.*, (2018) untuk adsorpsi gas H₂S limbah pabrik kelapa sawit, menggunakan satu dua kolom vertikal berbahan *stainless steel* dengan tinggi 5,6meter dan diameter 4 cm. Cukup sulit Ketika ingin dilakukan pembersihan dan pemindahan alat.

Lutfi *dkk.*, (2018) membuat desain kolom adsorpsi yang dapat dikustomisasi dalam bentuk bak penyaringan horizontal dengan susunan berundak yang digunakan untuk pemurnian limbah cair batik tulis. Kolom adsorpsi tersebut memiliki sistem yang membuatnya dapat melakukan pembersihan dan regenerasi adsorben secara parsial. Jumlah bak dapat disesuaikan dengan tingkat adsorpsi yang diinginkan, namun harus mempertimbangkan desain dudukan dari bak tersebut. Desain tersebut karena berbentuk horizontal sehingga membutuhkan ruangan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom berbentuk vertikal.

Tujuan penelitian secara umum adalah untuk merancang desain alat pemurnian biodiesel menggunakan prinsip dasar metode adsorpsi.

Karakteristik dari alat yang dirancang adalah pengguna dapat menyesuaikan jumlah adsorben yang digunakan dengan memanfaatkan bentuk rancang bangun alat yang portable dan dapat dibongkar pasang. Alat ini dapat memberi manfaat dari segi portabilitas, daya jerap, kemudahan pengaplikasian dan pemeliharaan alat.

2. Bahan dan Metode

Alat utama dalam penelitian ini adalah unit pemurnian biodiesel berbasis adsorpsi dengan bentuk portable, dengan bentuk penampang seperti pada Gambar 4. Alat pemurnian berbentuk kolom dengan sejumlah plat sebagai tempat bahan adsorber dan meningkatkan *residence time* agar proses pemurnian dapat berlangsung sempurna. Alat terdiri dari 3 bagian, yaitu: *top distributor*, *packing bed*, dan *bottom collector*. Prinsip dari ketiga bagian tersebut adalah seperti *puzzle* yang dapat diatur jumlah *packing bed*-nya mengikuti kebutuhan pemurnian yang diinginkan. Ketiga bagian alat tersebut dihubungkan dengan ulir sehingga dapat dibongkar pasang sesuai keinginan. Corong pemisah dan alat-alat gelas laboratorium digunakan sebagai alat pendukung pada proses analisis bahan baku maupun produk. Bahan isian kolom adsorber antara lain: busa, pasir halus, tanah bentonite, silika gel, karbon aktif, arang karbon, ring keramik, dan zeolit. Sedangkan bahan pembuan kolom dapat dibentuk dari PLA (*Polylactic Acid*), *stainless steel*, kaca, PVC, maupun akrilik, disesuaikan dengan kebutuhan dan biaya.

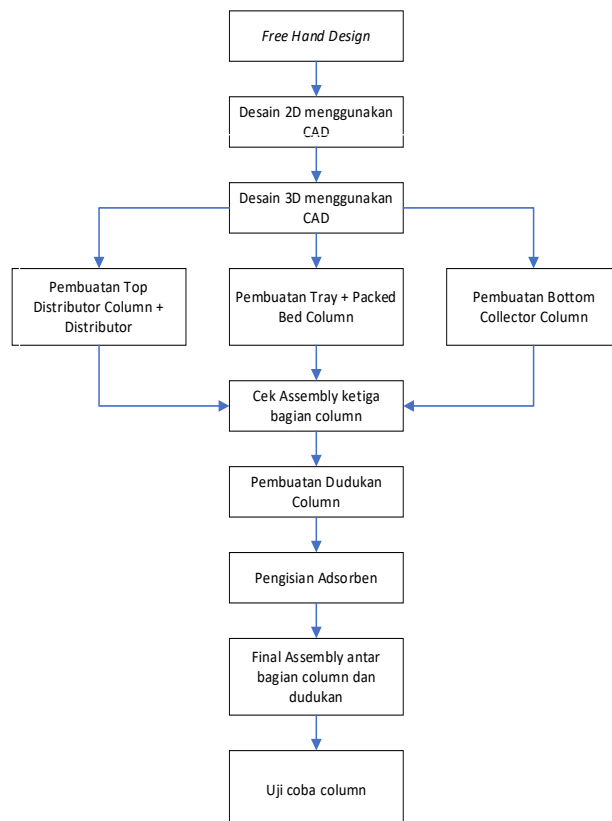
Metode perancangan alat *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* ini mengikuti alur Langkah kerja seperti pada Gambar 1. Dimana proses desain dimulai dari kegiatan *freehand drawing* 3 sudut pandang untuk melihat sketsa dasar dari desain alat. Sketsa tersebut kemudian dibentuk menjadi model 3 dimensi dengan bantuan *software* CAD hingga membentuk desain dan model yang siap cetak. Proses cetak secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan *printer* 3 dimensi menggunakan bahan PLA, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Penggunaan bahan lain dapat dilakukan pula dengan berbasis pada model 3 dimensi yang ada. Setelah proses cetak, dilanjutkan dengan proses *assembly* untuk menyusun alat menjadi satu rangkaian yang utuh sesuai dengan kebutuhan, seperti contoh pada Gambar 7. Proses *assembly* juga termasuk didalamnya proses penyusunan bahan isian untuk adsorpsi. Setelah tersusun, proses adsorpsi dapat mulai dilakukan dengan melakukan pengaliran sampel ke dalam kolom untuk kemudian hasilnya ditampung dan dianalisis sesuai dengan variabel yang ingin diketahui.

3. Pembahasan

Rancangan dasar *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* seperti terlihat pada skema Gambar 5. Desain kolom adsorpsi terdiri dari beberapa bagian, yaitu: *top distributor*, *packing bed* dan *bottom collector*.

Top distributor (Gambar 2), berfungsi untuk mendistribusikan aliran biodiesel yang masuk kedalam kolom bagian atas. Pendistribusian harus dilakukan untuk memperluas bidang kontak antara cairan dengan adsorben dan menjamin kelancaran aliran fluida. Diameter kolom adalah 6" dengan ketebalan 2mm. Bagian *top distributor* dapat disambungkan dengan bagian *packing bed* menggunakan sistem ulir. Input distributor berukuran $\frac{3}{4}$ " dan akan disebar melalui pipa berukuran 1" yang melintang sepanjang diameter kolom. Output distributor berupa lubang berukuran $\frac{3}{4}$ " yang berada dibagian pipa distributor untuk menjamin sebaran cairan.

Packing bed (Gambar 3), berfungsi sebagai tempat menaruh adsorben penjerap kotoran yang ada pada biodiesel yang dialirkan. Tumpukan adsorben ditumpu oleh plat setebal 3mm yang dilengkapi lubang untuk mendistribusikan aliran biodiesel lebih lanjut, dengan ukuran lubang pada plat sebesar 5mm.



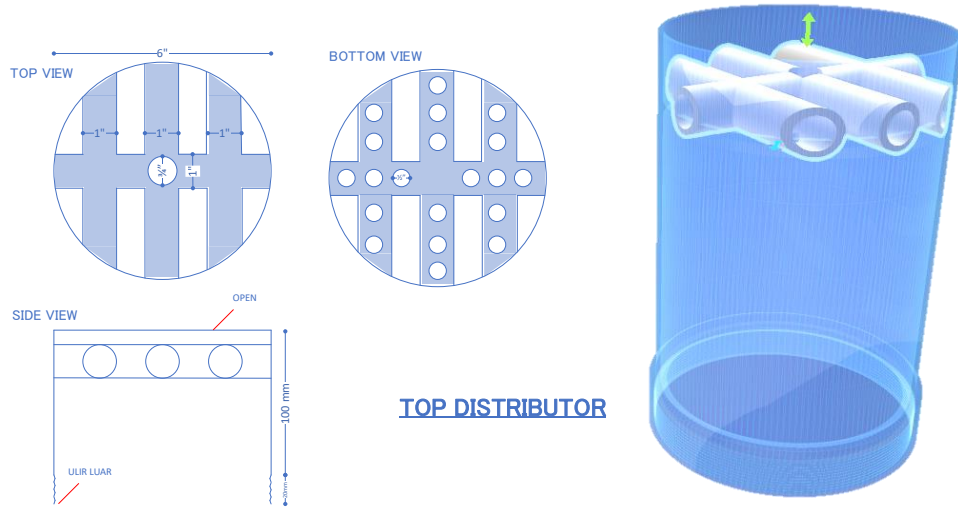
Gambar 1. Alur Kerja Desain *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column*

Diameter kolom adalah 6" dengan tebal 2mm, tinggi maksimal adsorben yang dapat dipasang adalah 170mm. Bagian *packing bed* dapat disambungkan dengan bagian *packing bed* lainnya maupun *bottom collector* menggunakan sistem ulir. Jumlah *packing bed* yang digunakan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan tingkat pemurnian yang diinginkan. Jenis bahan isian yang dapat ditempatkan pada *tray* pun beragam jenisnya bergantung pada jenis adsorben yang dikembangkan. Sehingga alat ini dapat menjadi *platform support* berbagai jenis adsorben yang beredar dipasaran maupun yang tengah dalam penelitian.

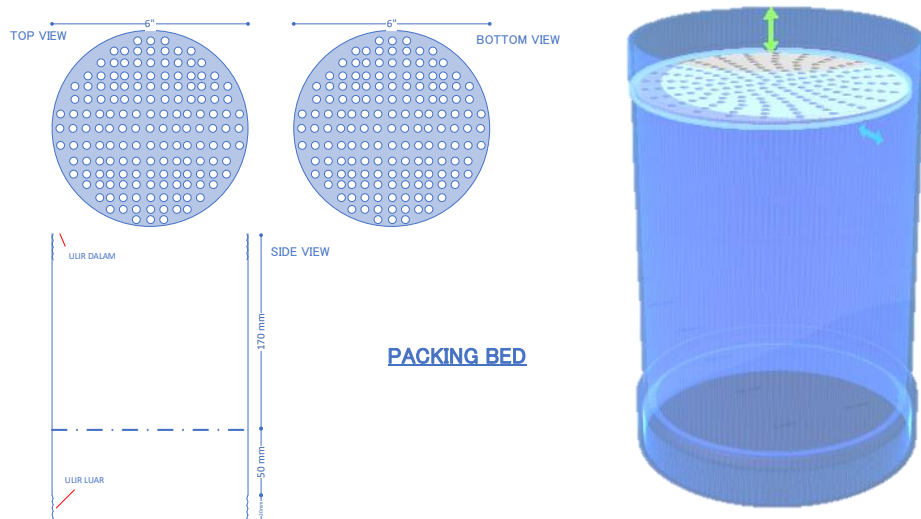
Bottom collector (Gambar 4), berfungsi untuk menampung dan mengalirkan biodiesel hasil adsorpsi ke penampungan. Diameter kolom adalah 6" dengan tebal 2mm. Bentuk collector dibuat seperti corong kerucut agar penampungan dapat terpusat pada jalur pengeluaran berukuran 10mm dan memudahkan ketika melakukan packing. *Bottom collector* dapat dihubungkan dengan *packing bed* menggunakan sistem ulir.

Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column dapat dibuat menggunakan berbagai jenis bahan seperti polimer, *stainless steel*, maupun akrilik, disesuaikan dengan keinginan dan kondisi biaya dari pengguna. Diameter kolom untuk ketiga bagian utama adalah 6" dengan tinggi kolom *top distributor*, *packing bed*, dan *bottom collector* berturut-turut adalah 120mm, 240mm, dan 100mm. Frame sebagai penyangga kolom terbuat dari besi. Tinggi keseluruhan dari kolom menyesuaikan dengan kebutuhan tingkat adsorben yang ingin digunakan. Sistem portable bongkar pasang ini bertujuan untuk kemudahan pemakaian, pembersihan, dan kustomisasi tingkat pemurnian yang diinginkan. Desain *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* ini masih dapat terus dikembangkan baik dari segi konstruksi, efektifitas, ergonomi, dan pemeliharaan. Alat ini harapannya dapat memenuhi kebutuhan pemurnian biodiesel berbasis adsorpsi yang mudah, murah, dan dapat dikustomisasi. Desain alat ini dapat diduplikasi untuk proses pemurnian lain berbasis adsorpsi, seperti pemurnian bioethanol, air limbah, dsb.

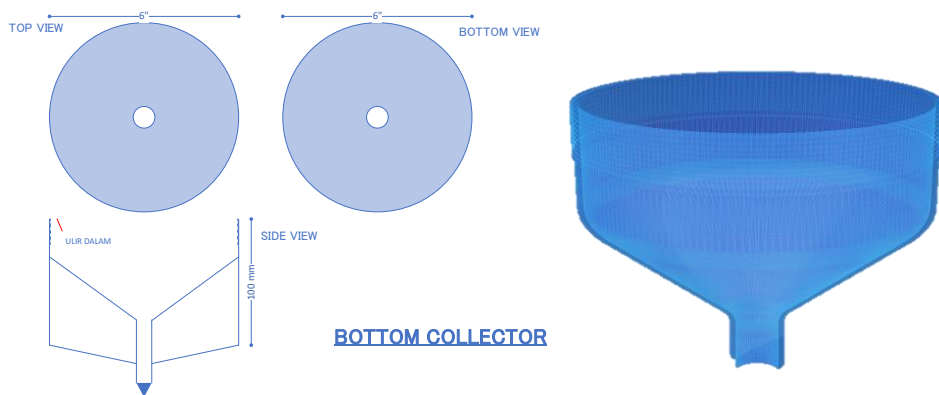
Desain *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* ini mampu menyempurnakan desain dari kolom adsorpsi yang telah ada sebelumnya. Desain kolom ini dapat mengatasi masalah sulitnya regenerasi adsorben, karena alat ini dapat dibongkar pasang dengan mudah menggunakan sistem ulir tanpa harus membongkar seluruh bagian adsorben, jadi user dapat melakukan regenerasi pada salah satu bagian adsorben yang diinginkan. Karena menggunakan sistem modular dan ulir, user dapat melakukan kustomisasi bagian adsorber sesuai dengan kebutuhan dan banyaknya *packing bed* yang diinginkan tanpa harus terbatas pada ketinggian kolom dan *space* ruangan.



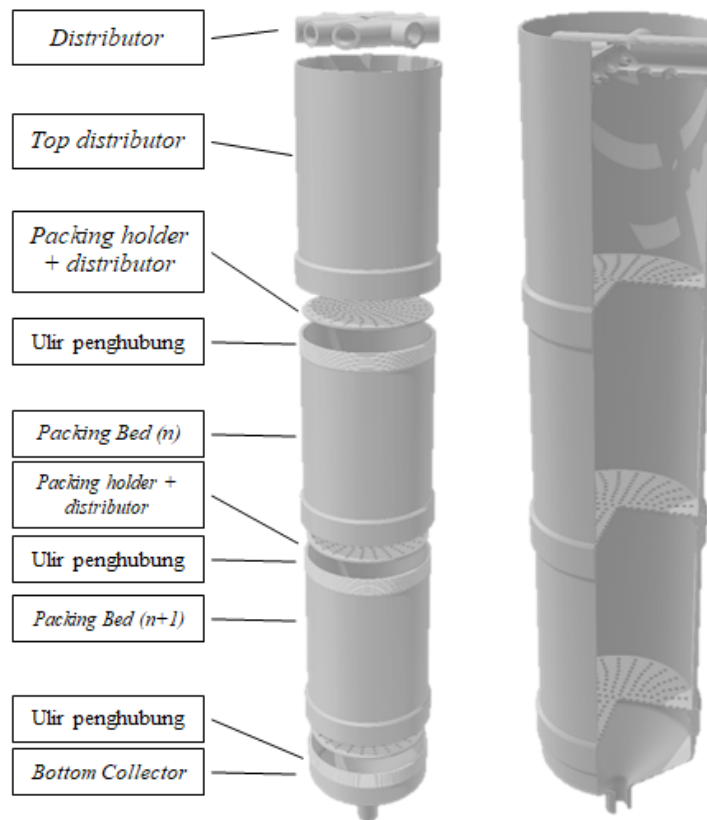
Gambar 2. Diagram Rancangan Alat Pemurnian Biodiesel bagian *Top Distributor*



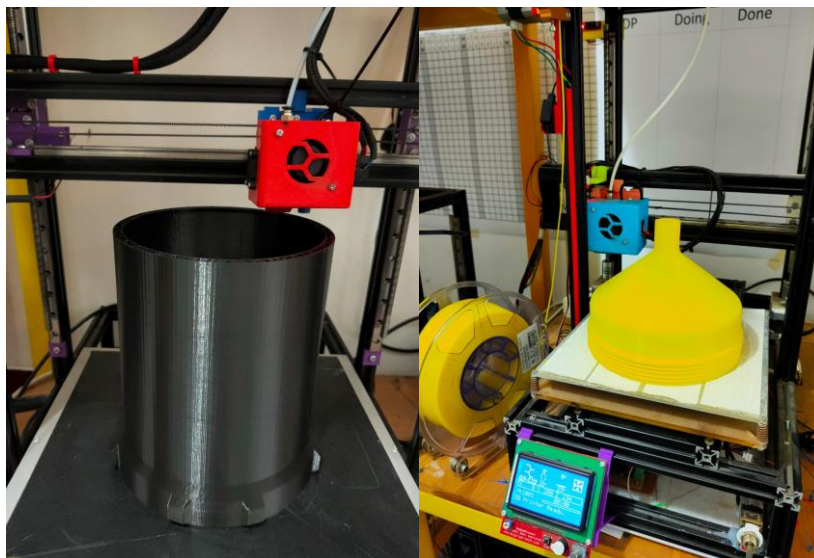
Gambar 3. Diagram Rancangan Alat Pemurnian Biodiesel bagian *Packing Bed*



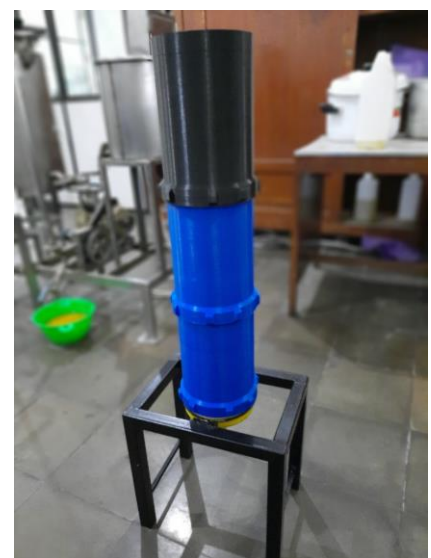
Gambar 4. Diagram Rancangan Alat Pemurnian Biodiesel bagian *Bottom Collector*



Gambar 5. Desain Assembly Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column



Gambar 6. Proses Pembuatan Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column menggunakan Bahan PLA



Gambar 7. Hasil Assembly Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column menggunakan Bahan PLA

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah telah terancang sebuah desain unit *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* sebagai media pemurnian biodiesel yang sederhana. Kolom ini dapat dirancang menggunakan bahan berupa PLA (*Polylactic Acid*), *stainless steel*, kaca, PVC, maupun akrilik, disesuaikan dengan kebutuhan dan biaya. Secara desain, *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* dirancang dengan diameter 6" dan ketebalan 2mm. Adsorben ditumpu oleh plat dengan diameter 6" dan ketebalan 3mm. *Portable Fixed Bed Composite Adsorber Column* terdiri dari 3 bagian, yaitu: *top distributor*, *packing bed*, dan *bottom collector*, dimana ketiga bagian tersebut dapat dihubungkan menggunakan sistem ulir untuk memudahkan proses pembersihan, menjamin portabilitas, dan menyesuaikan tingkat pemurnian. Segala kelebihan ini adalah untuk mengatasi permasalahan yang ada dari desain kolom adsorpsi terdahulu. Alat ini harapannya dapat memenuhi kebutuhan pemurnian biodiesel berbasis adsorpsi yang mudah, murah, dan dapat dikustomisasi. Desain alat ini dapat diduplikasi untuk proses pemurnian lain berbasis adsorpsi, seperti pemurnian bioethanol, air limbah, dsb.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberi dukungan pendanaan sehingga program penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

Daftar Pustaka

Argo, B. D., Djoyowasito, G. (2008). *Perancangan Mesin Pencuci Biodiesel dengan Sistem Penyemprotan Air dalam Minyak sebagai Upaya Minimalisasi Proses Emulsifikasi dan Konsumsi Penggunaan Energi*. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian-Universitas Brawijaya.

Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., Sulaiman, N. M. N. (2011a). Membrane biodiesel production and refining technology: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5051–5062.

Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., Sulaiman, N. M. N. (2011b). Refining technologies for the purification of crude biodiesel. *Applied Energy*, 88(12), 4239–4251.

Barrer, R. M. (1989). Clay minerals as selective and shape-selective sorbents. *Pure and Applied Chemistry*, 61(11), 1903–1912.

Berrios, M., Skelton, R. L. (2008). Comparison of purification methods for biodiesel. *Chemical*

Engineering Journal, 144(3), 459–465.

Bryan, T. (2005). *Adsorbing It All*. Diakses dari: <http://www.biodieselmagazine.com/articles/239/adsorbing-it-all>, 2 September 2020.

Foletto, E. L., Volzone, C., Porto, L. M. (2006). Clarification of cottonseed oil: how structural properties of treated bentonites by acid affect bleaching efficiency. *Latin American Applied Research*, 36(1), 37–40.

Katherine & Arie, A. A. (2016). *Desain Kolom Adsorpsi Cair Fixed-Bed untuk Penghilangan Limbah Zat Warna*. Universitas Katolik Parahyangan 2016.

Ketaren, S. (1986). *Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan*. UI press. Jakarta.

Kirk, R. E., Othmer, D. F., Grayson, M., Eckroth, D. (1978). *Encyclopedia of chemical technology*. New York; Wiley.

Lutfi, M., Yulianingsih, R., Muslikha, M. (2018). Desain dan pengujian alat adsorpsi limbah cair batik tulis dengan variasi waktu detensi dan komposisi zeolit kolom adsorpsi. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 6(3), 242–250.

Moosavi, M. (2017). Bentonite Clay as a Natural Remedy: a brief review. *Iranian Journal of Public Health*, 46(9), 1176.

Murray, H. H. (1999). Applied clay mineralogy today and tomorrow. *Clay Minerals*, 34(1), 39–49.

Mutiari, A., Wiratni, Mindaryani, A., Surasno. (2013). Desain Adsorber Menggunakan Bahan Isian Resin Penukar Anion Basa Kuat Untuk Pemurnian Biogas. *Jurnal Riset Industri*, 7(2), 101–109.

Oktavian, R., Poerwadi, B., Supriyono, S., Septiadi, H. T., Yuniardi, M. I. (2019). Studi Performa Membran Hidrofobik Berbasis Silika dalam Proses Pemurnian Biodiesel. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 3(1), 20-24.

Pinnavaia, T. J. (1983). Intercalated clay catalysts. *Science*, 220(4595), 365–371.

Purwadi, B., Pariadi, K. B., Ariseno, A. (1998). Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia sebagai Adsorben Limbah Cair dan Media Fluidasi dalam KolomFluidasi. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Teknik (Engineering)*, 10, 1.

Purwaningsih, S., Arung, E. T., Muladi, S. (2000). Pemanfaatan arang aktif cangkang kelapa sawit sebagai adsorben pada limbah cair kayu lapis. *Laporan Penelitian Universitas Mulawarman Samarinda*.

Rambe, S. M., Sipahutar, E. H., Dina, S. F. (2018). Kajian Perhitungan Desain Kolom Adsorpsi: Studi Kasus Kolom Adsorpsi Gas H₂S Pada Pembuatan Biogas dari Limbah Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 13(26), 17–24.

Saiful, Pratiwi, F., Maulana, I., Ramli, M. (2012). Mixed Matrix Membrane Adsorbers for Glycerol Removal

- in Biodiesel. *Natural*, 12(1), 1–8.
<https://doi.org/10.17969/jn.v12i1.823>
- Shibasaki-Kitakawa, N., Kanagawa, K., Nakashima, K., Yonemoto, T. (2013). Simultaneous production of high quality biodiesel and glycerin from *Jatropha* oil using ion-exchange resins as catalysts and adsorbent. *Bioresource Technology*, 142, 732–736.
- Wang, Y., Ou, S., Liu, P., Xue, F., Tang, S. (2006). Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 252(1–2), 107–112.
- Widayat, S., Haryani, K. (2006). Optimasi proses adsorpsi minyak goreng bekas dengan adsorbent zeolit alam: Studi pengurangan bilangan asam. *Jurnal Teknik Gelagar*, 17(1), 77–82.