Kemampuan Filter Rokok Non-Pakai Sebagai Adsorben Dalam Mengurangi Gas Emisi CO Dan HC

Mukhammad Rifki Hendianto¹, Novirina Hendrasarie^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

*Koresponden email: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima : 9 Oktober 2020

Disetujui: 24 Oktober 2020

Abstract

Air is the most important element for life. However, the air we breathe now tends to be dirty and not good for health. Air pollution occurs due to transportation activities. Cigarette filter manufacturers produce cigarette filters that are not suitable for use because they do not meet standards. This research utilizes an unused cigarette filter which can only become waste that was difficult to decompose by nature. This study aimed to assess the ability of unused cigarette filters to reduce gas emissions, carbon monoxide (CO), and hydrogen carbon (HC). This unused cigarette filter, known as an adsorbent, was made of highly absorbed cellulose acetate. These cigarette filter adsorbent has been studied on motorcycle exhausts since the 2000s. By modifying the type of cigarette filter, namely the ordinary cigarette filter in which carbon is added. The results showed that the unused cigarette filter was able to become an adsorbent for pollutants in the air, especially CO and HC. The type of cigarette filter that uses additional carbon has been shown to reduce CO and HC concentrations by 60% and 57.5%, respectively, than conventional cigarette filters.

Keywords: *adsorbent, gas emission, unused cigarette filter, CO gas, HC gas*

Abstrak

Udara merupakan unsur terpenting bagi kehidupan. Namun udara yang kita hirup kini cenderung kotor dan tidak baik bagi kesehatan. Polusi udara tersebut terjadi akibat aktivitas transportasi. Pabrik penghasil filter rokok, menghasilkan filter rokok yang tidak layak pakai karena tidak memenuhi standar. Penelitian ini memanfaatkan filter rokok tidak terpakai yang hanya akan menjadi limbah yang sulit terurai oleh alam. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan filter rokok non-pakai dalam mengurangi gas emisi, carbon monoksida (CO), dan hydrogen carbon (HC). Filter rokok non-pakai yang disebut sebagai adsorben ini berbahan selulosa asetat memiliki daya serap yang tinggi. Pengujian dari adsorben filter rokok ini dilakukan pada knalpot sepeda motor keluaran Tahun 2000-an. Dengan memodifikasikan jenis filter rokok yaitu filter rokok biasa yang didalamnya ditambahkan carbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter rokok non-pakai mampu menjadi adsorben zat pencemar di udara, khususnya CO dan HC. Jenis filter rokok yang menggunakan tambahan carbon terbukti dapat menurunkan konsentrasi CO dan HC masing-masing 60 % dan 57,5 % lebih banyak daripada filter rokok biasa.

Kata Kunci: *adsorben, emisi gas, filter rokok non-pakai, Gas CO, Gas HC*

1. Pendahuluan

Kualitas udara di Indonesia menjadi sorotan dunia akibat semakin buruknya kondisi yang terjadi pada saat ini. Pada Tanggal 29 September 2019, udara di Jakarta mencapai 179 US AQI dengan parameter PM 2,5 mencapai 110 dan menjadikan Indonesia sebagai negara dengan kualitas terburuk di dunia. Indeks tersebut juga dapat memperlihatkan kandungan dari beberapa senyawa berbahaya lainnya seperti CO dan HC yang juga tinggi. Hal ini tidak lepas dari pengaruh emisi kendaraan bermotor yang ada dan juga semakin bertambah setiap tahun. Pertumbuhan penduduk yang pesat mengakibatkan kebutuhan akan alat transportasi yang banyak sehingga emisi yang dihasilkan juga semakin banyak. Sektor transportasi merupakan penyumbang dari 80% pencemaran udara. Pencemaran udara dapat mengakibatkan sesak nafas dan juga menurunkan fungsi paru-paru pada polisi lalu lintas.

Tindakan pencegahan harus segera dilakukan sebelum seluruh daerah di Indonesia memiliki kualitas udara yang sama seperti Jakarta. Salah satunya adalah dengan memodifikasi alat pembuangan gas pada kendaraan bermotor. Perlakuan modifikasi bisa dilakukan dengan berbagai macam metode seperti penambahan adsorber. Adsorber yang akan digunakan di penelitian ini adalah adsorber dengan bahan baku filter rokok non-pakai.

PT. Esentra merupakan perusahaan penghasil filter rokok untuk berbagai macam pabrik rokok. Perusahaan ini dapat melakukan produksi filter rokok mencapai 1 hingga 3 miliar batang setiap bulannya.

Terdapat bermacam-macam tipe filter seperti mono, *capsule*, serta tube. Banyak dari filter rokok yang gagal terdistribusi (*rejected*) akibat diameter yang tidak sesuai, kepadatan yang tidak sesuai standar, serta panjangnya kurang sehingga mengakibatkan filter rokok menjadi limbah yang tidak terolah. Untuk barang *rejected* selama ini sekitar 30% digunakan untuk bahan bakar dari proses produksi itu sendiri.

Filter rokok memiliki bahan dasar sebanyak 95% berupa selulosa asetat yang merupakan senyawa anorganik. Selulosa asetat dapat digunakan sebagai filter untuk menyerap racun yang ada pada rokok saat dihirup. Daya serap ini yang akan dimanfaatkan untuk mengurangi CO dan HC yang ada pada kendaraan bermotor. CO dan HC merupakan senyawa kimia yang berasal dari gas buangan kendaraan bermotor. CO akan berbahaya bila terhirup oleh manusia karena dapat berakibat pada gangguan pernapasan serta efek jangka panjang berupa gangguan syaraf serta jantung. Dalam penelitian ini peneliti akan melakukan percobaan penambahan adsorben filter rokok non-pakai untuk mengurangi gas emisi yang dapat membahayakan kesehatan manusia.

Filter rokok non-pakai adalah istilah yang dipakai untuk menyebut filter rokok yang belum digunakan [1]. Pada penelitian ini akan difokuskan pada filter rokok non-pakai karena melihat urgensinya sebagai limbah pabrik. Filter rokok memiliki fungsi sebagai penyerap asap pembakaran rokok dan juga sebagai penghalang agar tembakau tidak langsung masuk ke mulut. Filter rokok dibuat untuk mengurangi asap rokok, dan zat beracun yang dihirup ketika proses pembakaran terjadi [2].

Gambar 1. Hasil uji morfologi SEM filter rokok non-pakai
Sumber: Ref. [3]

Filter rokok mengandung 95% selulosa asetat. Selulosa asetat merupakan plastik alami yang terbuat dari kapas dan bubur kertas. Selulosa asetat memiliki serat yang tipis, berwarna putih, dan dipadatkan agar bisa membentuk filter. Seratnya terikat dengan *plasticizer* dan *triacetin* (*glycerol triacetate*) [4].

Karbon monoksida dibuat manusia karena pembakaran bensin tidak sempurna dalam kendaraan. Karbon monoksida tercipta dari bahan bakar yang terbakar sebagian akibat pembakaran yang tidak sempurna ataupun karena campuran bahan bakar dan udara yang terlalu kaya (kurangnya udara). CO yang dikeluarkan dari sisa hasil pembakaran banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang dihisap oleh mesin [5]. Gas karbon monoksida juga tercipta dari pembakaran perindustrian, pembangkit listrik, pemanas rumah. Pembakaran di pertanian dan sebagainya gas ini tidak berwarna atau berbau, tetapi amat berbahaya [6][15].

Senyawa Hidro karbon (HC) terjadi karena bahan bakar belum terbakar tetapi sudah terbang bersama gas buang akibat pembakaran kurang sempurna dan penguapan bahan bakar. Senyawa hidro karbon (HC) dibedakan menjadi dua yaitu bahan bakar yang tidak terbakar sehingga keluar menjadi gas mentah, serta bahan bakar yang terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang[5][16]. Gas hidro karbon ini hanya mengandung unsur hidrogen dan karbon. Pencemar udara berupa hidrokarbon dihasilkan proses di perindustrian penguapan pelarut organik dan pembakaran sampah. Hidro karbon berperan dalam asap kabut (asbut) foto kimia dan penyebab kanker. Pelepasan hidro karbon dari kendaraan bermotor juga disebabkan oleh emisi minyak bakar yang belum terbakar di dalam buangan. Asap rokok mengandung benzopirena yang menyebabkan kanker jantung. Penduduk kota menghisap benzopirena setiap hari sekitar yang terkandung dalam 7 batang rokok. Benzopirena yang terdapat di udara kebanyakan disebabkan pembakaran batu bara. Sekitar 10% keluar dari knalpot kendaraan [7].

2. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan menggunakan sumber penghasil CO dan HC berupa kendaraan bermotor Suzuki Smash tahun 2003, *tachometer*, gas *analyzer*, knalpot standar, dan knalpot modifikasi (**Gambar 2**).

Gambar 2. Pembuatan reaktor
Sumber: Dokumen pribadi (2020)

Filter rokok yang digunakan dalam penelitian ini adalah filter rokok non-pakai (FR-A) dan filter rokok non-pakai dengan campuran karbon aktif (FR-B). Filter rokok non-pakai dengan campuran karbon aktif memiliki kandungan karbon aktif sebanyak 15%-30% dari berat total filter rokok non-pakai.

Prosedur Kerja

Disiapkan 5 batang filter rokok non-pakai tipe A, 4 batang filter rokok tipe B, dan 50 gr untuk masing-masing tipe A dan tipe B. Sampel kemudian dimasukkan kedalam tabung dalam adsorpsi. Lalu disiapkan 5 tabung berukuran sama dan ulangi tahap seperti diatas. Tabung yang sudah berisi sampel kemudian dimasukkan kedalam reaktor secara bergiliran dan dirakit sedemikian rupa sehingga tabung tidak lepas dari reaktor. Dilakukan uji gas emisi CO dan HC dengan knalpot standar pada kondisi putaran mesin idle, 3000 RPM, dan 5000 RPM. Selanjutnya, dilakukan uji gas emisi CO dan HC dengan reaktor untuk masing-masing sampel secara bergantian pada kondisi putaran mesin idle, 3000 RPM, dan 5000 RPM. Putaran mesin dengan hasil penurunan terbaik selanjutnya akan digunakan untuk menguji daya tahan penyerapan adsorben terhadap waktu kontak. Kemudian diulangi lagi seluruh prosedur kerja mulai dari persiapan filter rokok sampai perakitan agar tabung tidak lepas dari reaktor. Selanjutnya, dilakukan uji gas emisi CO dan HC dengan waktu kontak selama 30 menit, 60 menit, dan 120 menit untuk masing-masing sampel dan dengan putaran mesin sebesar 5000 RPM.

3. Hasil dan Pembahasan

Daya Tahan Filter Rokok Terhadap Putaran Mesin

Hasil penelitian didapatkan dengan cara mengambil sampel udara dengan gas analyzer. Sumber gas emisi CO dan HC berasal dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor digunakan sebagai objek penghasil gas emisi CO dan HC. Sampel udara yang diambil berasal dari reaktor berbentuk knalpot yang sudah dimodifikasi. Didalam reaktor tersebut telah diletakkan filter rokok non-pakai (FRNP) baik tipe FR-A maupun FR-B. Penyisihan gas emisi karbon monoksida (CO) dan gas hidrokarbon (HC) dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **4**.

Gambar 3. Persen removal CO terhadap putaran mesin
Sumber: Data primer (2020)

Gambar 4. Persen removal HC terhadap putaran mesin
Sumber: Data primer (2020)

Dari **Gambar 3** dan **4** dapat dilihat pada sampel FR-A dan FR-B terdapat penurunan konsentrasi CO dan HC. Pada sampel FR-A yang berbahan 95% selulosa asetat didapat penurunan tertinggi CO dan HC masing-masing hingga 4,7 % dan 420 ppm pada putaran mesin 5000 RPM. Penurunan pada kondisi idle mencapai 5,05 % untuk CO dan 1100 ppm untuk HC. Pada kondisi putaran mesin 3000 RPM CO dan HC dapat diturunkan masing-masing hingga mencapai 4,8 % dan 1050 ppm.

Pada sampel FR-B yang berbahan campuran selulosa asetat dan karbon aktif berbahan tempurung kelapa didapat penurunan konsentrasi keseluruhan yang lebih tinggi dibanding sampel FR-B. Penurunan konsentrasi CO dan HC tertinggi terjadi pada saat kondisi putaran mesin 5000 RPM dengan hasil masing-masing 1,88 % dan 420 ppm. Penurunan pada kondisi idle mencapai 2,35 % untuk CO dan 500 ppm untuk HC. Pada kondisi putaran mesin 3000 RPM CO dan HC dapat diturunkan masing-masing hingga mencapai 2,01 % dan 450 ppm.

Dalam hal ini konsentrasi CO dan HC tertinggi pada sampel FR-B masih lebih baik daripada konsentrasi CO dan HC terendah pada sampel FR-A. Kondisi ini dipengaruhi oleh campuran karbon aktif yang ada dalam sampel FR-B. Sampel FR-B dengan campuran karbon aktif memiliki potensi menurunkan konsentrasi CO dan HC lebih baik daripada sampel FR-A yang hanya berbahan selulosa asetat. Karbon

aktif didalam sampel FR-B terbukti dapat menurunkan konsentrasi CO dan HC masing-masing 60 % dan 57,5 % lebih banyak daripada sampel FR-B.

Ditinjau dari pengaruh putaran mesin, penurunan gas emisi dipengaruhi oleh putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin, maka konsentrasi CO dan HC yang dihasilkan akan semakin menurun. Pada saat kondisi idle konsentrasi CO dan HC yang dihasilkan tinggi. Hal ini disebabkan campuran bahan bakar masih kental sehingga oksigen yang dibutuhkan tidak terpenuhi dan pembakaran menjadi tidak sempurna. Pada saat putaran mesin ditingkatkan bahan bakar menjadi encer dan menyebabkan kebutuhan oksigen bisa terpenuhi dan konsentrasi CO dan HC yang keluar menjadi semakin rendah [8].

Penurunan konsentrasi CO dan HC pada sampel FR-A dan FR-B dapat terjadi karena kedua gas yang terperap oleh pori-pori didalam bahan sampel. Adsorben yang memiliki luas permukaan pori besar dapat melakukan penyerapan gas. Penyerapan gas terjadi dengan cara difusi dipermukaan pori-pori. Pori-pori yang sudah tidak dapat menyerap gas lagi akan menjadi jenuh dan gas tidak dapat berdifusi sehingga lolos keluar [9]. Hal ini terjadi pada sampel FR-A yang penurunan konsentrasi CO dan HC-nya tidak signifikan.

Penurunan konsentrasi gas emisi CO dan HC dapat dipengaruhi oleh kondisi suhu pada saat proses adsorpsi. Semakin tinggi suhu pada saat proses, maka daya penyerapannya akan semakin menurun [10]. Kenaikan suhu mesin disebabkan oleh putaran mesin yang meningkat [8]. Meskipun begitu, serat selulosa asetat mengandung pori-pori yang berukuran hingga 300-500 nm [11]. Sampel FR-B dapat menurunkan gas emisi CO dan HC lebih banyak daripada sampel FR-A karena didalamnya mengandung bahan karbon aktif 15% - 30% dari massa total FRNP. Kandungan karbon aktif dapat menyerap CO dan HC lebih banyak masing-masing 60% dan 57,5%. Karbon aktif memiliki pori-pori hingga ukuran < 2 nm dan memiliki luas permukaan yang besar sehingga kapasitas penyerapan gas akan besar [12].

Daya Tahan Filter Rokok Terhadap Waktu Kontak

Sumber gas emisi CO dan HC berasal dari kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor digunakan sebagai objek penghasil gas emisi CO dan HC Perbandingan efisiensi ini ditinjau dari waktu kontak. Waktu kontak yang digunakan adalah 0, 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 120 menit. Waktu kontak 0 berarti putaran mesin masih idle atau tanpa digas. Selanjutnya putaran mesin yang digunakan adalah 5000 rpm. Waktu kontak digunakan untuk melihat daya tahan kemampuan penyerapan masing-masing adsorben atau bisa disebut untuk melihat titik jenuh.

Gambar 5. Pengaruh waktu kontak terhadap Gas CO
Sumber: Data primer (2020)

Gambar 6. Pengaruh waktu kontak terhadap Gas HC
Sumber: Data primer (2020)

Dari **Gambar 6** dapat dilihat pengaruh waktu kontak terhadap konsentrasi CO dan HC. Untuk gas emisi CO dapat dilihat pada kontrol, konsentrasi terendah terdapat pada menit ke 30 yaitu 6,9 %. Pada menit ke 60 dan 120 konsentrasi CO semakin meningkat hingga mencapai 7,25 % dan 7,48 %. Untuk sampel FR-A konsentrasi terendah terdapat pada menit ke-30 yaitu 4,68 %. Pada menit ke 60 dan 120 konsentrasi CO cenderung meningkat masing-masing hingga 5,1 % dan 7,43 %. Sampel FR-B memiliki penurunan konsentrasi CO yang signifikan dengan penurunan tertinggi pada menit ke 60 hingga mencapai 1,7 %. Pada menit ke 30 konsentrasi dapat turun hingga 1,8 % dan kemudian meningkat pada menit ke 120 mencapai 7,4 %.

Untuk gas emisi HC, pada kontrol dengan waktu kontak 30 menit, konsentrasinya mencapai 1400 ppm. Pada menit ke 60 dan 120, konsentrasinya terus meningkat hingga mencapai 1530 ppm dan 1630 ppm. Pada sampel FR-A, konsentrasi HC terendah tercatat pada menit ke 30 dengan nilai 911,9 ppm. Pada menit ke 60 dan 120 konsentrasinya terus meningkat hingga mencapai 1053 ppm dan 1610 ppm. Pada sampel FR-B, konsentrasi HC terendah tercatat pada menit ke-60 dengan nilai 380,9 ppm. Pada menit ke 30 konsentrasinya mencapai 384,7 ppm, kemudian meningkat pada menit ke-120 hingga mencapai 1615 ppm.

Pada sampel FR-A persen removal CO dan HC tertinggi yaitu pada menit ke- 30 mencapai masing-masing 32,17 % dan 34,86 %. Pada menit selanjutnya persen removal semakin menurun. Pada sampel FR-B persen removal CO dan HC tertinggi yaitu pada menit ke – 60 mencapai masing-masing 76,55 % dan 75,1 %. Grafiknya meningkat dari sebelumnya pada menit ke – 30 mencapai masing-masing 73,9 % dan 72,52 %. Pada menit ke-120 grafiknya turun.

Sampel FR-A dapat menyerap gas emisi CO dan HC hingga menit ke-30. Pada menit ke-60 dan 120 konsentrasi kedua gas tersebut semakin meningkat. Bila dibandingkan dengan sampel yang lain, sampel FR-A memiliki waktu penyerapan yang paling kecil. Ketiga sampel yang lain dapat menyerap gas emisi CO dan HC hingga menit ke-60. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa hal. Kandungan didalam sampel FR-A yang 95% merupakan selulosa asetat dengan ukuran pori yang besar hingga mencapai 300-500 nm [10]. Ukuran pori untuk adsorben yang baik harus berkisar antara 2 nm hingga 50 nm. ukuran ini harus terpenuhi agar adsorben bisa memiliki luas permukaan dan volume yang besar. Luas permukaan dan volume yang besar akan meningkatkan daya serap adsorben tersebut [13].

Sampel FR-B dapat menyerap emisi CO dan HC hingga menit ke-60. Tambahan bahan karbon aktif sebanyak 15%-30% mampu menambah daya serap sampel, terbukti dari daya serap iodin yang lebih besar daripada sampel FR-A. daya serap yang besar mengindikasikan luas permukaan pori yang besar sehingga adsorben tidak mudah jenuh [9].

Pada menit ke-120, semua sampel mengalami kenaikan konsentrasi gas emisi CO dan HC. Kenaikan konsentrasi kedua gas emisi ini terjadi karena adsorben yang digunakan sudah tidak dapat melakukan penyerapan atau dapat dibilang jenuh. Kemampuan penyerapan adsorben dapat dipengaruhi oleh waktu. Semakin bertambahnya waktu, semakin berkurang kapasitas penyerapannya [14]. Kapasitas penyerapan yang semakin berkurang ini terjadi karena pori didalam adsorben sudah dipenuhi oleh adsorbat. Pori yang sudah dipenuhi adsorbat akan membentuk lapisan kedua, ketiga dan seterusnya,

namun ada juga yang tidak membentuk lapisan kedua, ketiga, dan seterusnya sehingga adsorbat akan terus berdifusi keluar dan disebut sebagai kondisi jenuh [14].

4. Kesimpulan

Filter rokok non-pakai dapat menurunkan gas emisi CO dan HC kendaraan bermotor. Sampel FR-B memiliki nilai penurunan tertinggi terhadap CO dan HC masing-masing hingga 1,88 % dan 420 ppm. Sampel FR-A memiliki nilai penurunan CO dan HC masing-masing hingga 4,7 % dan 990 ppm. Keduanya mencapai titik tertinggi pada putaran mesin 5000 rpm. Meskipun begitu, keduanya dapat menurunkan konsentrasi CO dan HC hingga sesuai standar baku mutu gas emisi. Filter rokok non-pakai memiliki nilai persen removal CO dan HC maksimal masing-masing mencapai 69,68 % dan 67,69 % pada sampel FR-B. Waktu kontak optimum pada filter rokok tercatat pada menit ke-60 dan dapat menurunkan CO dan HC hingga 1,7 % dan 380,9 ppm pada sampel FR-B.

5. Referensi

- [1] Marinello S, Lolli F, Gamberini R, Rimini B, A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121245>
- [2] J. Erum, Van, D. Dam, Van & P. P. De. Deyn, *J. of Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 100632, 2019 <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.07.019>
- [3] S. Polarz, B. Smarsly & J. H. Schattka, "Hierarchical porous carbon structures from cellulose acetate fibers," *Chemistry of Materials*, vol. 14(7), pp. 2940–2945, 2002.
- [4] K. N. Balan, T. N. Valarmathi, M. S. H. Reddy, G. A. Reddy and S. Vasan, "Analysis of CO₂, CO, and HC emission reduction in automobiles," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 197, 2017.
- [5] Ningrat K. W. A A., Kusuma W. B. G. I., Adnyana B. W. I., "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite Terhadap Akselerasi Dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Bertransmisi Otomatis," *Jurnal Mekktek*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Bali, Vol. 2 (1), hal 59 – 67, 2016.
- [6] V. Viena, Elvitriana dan S. Wardani, "Application of banana peels waste as adsorbents for the removal of CO₂, NO, NO_x, and SO₂ gases from motorcycle emissions," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 334, 2018.
- [7] J. Soemirat, *Kesehatan Lingkungan*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009.
- [8] D. Fernandez, "Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Buang Hidrokarbon (Hc) Dan Karbon Monoksida (Co)," *Jurnal Sainstek UNP*, vol. 12(1), hal. 1–4, 2009.
- [9] F. Tamar Jaya, "Adsorpsi Emisi Gas CO, NO, dan NO_x," Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin Makasar, vol. x, hal. 1–57, 2014.
- [10] F. A. Nurdila, N. S. Asri & D. E. Suharyadi, "Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄)," *J. Fisika Indonesia*, vol. XIX(55), hal. 23–27, 2015.
- [11] F. Ji, C. Li, B. Tang, J. Xu, G. Lu & P. Liu, "Preparation of cellulose acetate/zeolite composite fiber and its adsorption behavior for heavy metal ions in aqueous solution," *Chemical Engineering Journal*, vol. 209, pp. 325–333, 2012.
- [12] Y. Danarto & T, S, "Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr (VI)," *Ekuilibrium*, vol. 7(1), hal. 13–16, 2008.
- [13] M. Awaludin, "Adsorpsi Isothermal Karbondioksida dan Metana pada Karbon Aktif berbahan dasar Batubara Sub Bituminus Indonesia untuk Pemurnian dan Penyimpanan Gas Alam," *Disertasi*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2010.
- [14] K. T. Basuki, "Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂," Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, 2007.
- [15] N. Hendrasarie, "Kajian Efektifitas Tanaman, dalam Menjerap Kandungan Pb di udara," *J. Rekayasa Perencanaan*, vol. 3(2), hal. 1-15, 2007.
- [16] F. Reda, R. Junaidi dan I. Hasmita, "Penyerapan Emisi CO dan NO_x Pada Gas Buang Kendaraan, Menggunakan Karbon Aktif dari kulit Cangkang Biji Kopi," *Biopropal Industri*, vol. 9(10), hal. 37-47, 2018.