

# EFEKTIVITAS ADSORBEN BERBAHAN FILTER ROKOK NON-PAKAI UNTUK MENURUNKAN KADAR CO DAN NO<sub>x</sub> PADA ASAP ROKOK

**Kawista Arum Kinanti dan Novirina Hendrasarie**

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: [novirina@upnjatim.ac.id](mailto:novirina@upnjatim.ac.id)

## ABSTRAK

Pencemaran udara tidak hanya terjadi diluar ruangan tetapi juga didalam ruangan, Salah satu pencemar dalam ruangan yang banyak dijumpai adalah gas Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>). Asap pembakaran tidak sempurna terakumulasi didalam ruangan akibat dari konsumsi rokok. Reduksi polutan dapat dilakukan dengan cara adsorpsi, penelitian ini memanfaatkan limbah filter rokok non – pakai jenis *capsule* dan *charcoal* dari pabrik penghasil filter rokok yang tidak lolos uji kualitas untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif yang akan dipergunakan sebagai adsorben CO dan NO<sub>x</sub> pada asap rokok. Filter rokok setelah dikarbonisasi kemudian diaktivasi dengan larutan KOH 65% menggunakan perbandingan *activator agent* dan larutan sebesar 4:1. Penelitian ini menggunakan reaktor yang dimodelkan seperti ruangan dengan volume ruang 0,02 m<sup>2</sup>. Karbon aktif berbahan dasar *FR-Capsule* dan *FR-Charcoal* terbukti mampu menurunkan kadar CO sebesar 86,8% dalam waktu kontak 120 menit dan NO<sub>x</sub> 89,7% dalam waktu kontak 30 menit pada *sidestream smoke*, dan kandungan CO turun sebesar 98,8% sedangkan NO<sub>x</sub> turun sebesar 100% pada waktu kontak 30 menit pada *mainstream smoke*.

**Kata kunci:** Dalam ruangan, Asap rokok, Karbon aktif.

## ABSTRACT

*Air pollution does not only occur outside the room but also indoors. One of the most common indoor pollutants is Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>). Incomplete combustion smoke accumulates in the room as a result of cigarette consumption. Pollutant reduction can be done by means of adsorption, this research utilizes capsule and charcoal non-use cigarette filter waste from cigarette filter-producing factories that do not pass the quality test to be used as activated carbon which will be used as CO and NO<sub>x</sub> adsorbents in cigarette smoke. After carbonization, the cigarette filter was activated with a KOH solution of 65% using an activator agent and solution ratio of 4: 1. This study used a reactor that was modeled like a room with a space volume of 0.02 m<sup>2</sup>. Activated carbon made from FR-Capule and FR-Charcoal is proven to be able to reduce CO levels by 86.8% in a contact time of 120 minutes and NO<sub>x</sub> 89.7% within 30 minutes of contact time on sidestream smoke, and the CO content drops by 98.8% while NO<sub>x</sub> decreased by 100% at 30 minutes of contact time on mainstream smoke.*

**Keywords:** Indoor, Cigarette smoke, Activated carbon.

## **PENDAHULUAN**

Pencemaran didalam ruangan tidak kalah berbahaya dibandingkan dengan pencemaran diluar ruangan karena manusia banyak beraktivitas didalam ruangan namun sirkulasi udara yang tidak sebebaskan udara ambien menyebabkan berbagai polutan berbahaya terakumulasi. Polutan berbahaya yang sering dijumpai akibat dari aktivitas merokok adalah karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NOx). Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah konsumsi rokok terbanyak bersama dengan negara nega seperti Cina, Jepang, Amerika Serikat dan Rusia yaitu sebesar 215 milyar rokok per tahunnya (Mukhtar,2012). Asap rokok atau yang dikenal sebagai *Environmental Tobacco Smoke* menghasilkan dua jenis rokok yaitu *Mainstream smoke* yaitu asap yang dihembuskan oleh perokok dan *Sidestream smoke* yaitu asap hasil pembakaran dari sis lainnya, dimana dalam dua jenis asap yang dihasilkan ini terkandung sebanyak 4000 jenis zat kimia dan 60 diantaranya bersifat karsinogenik.

PT. Essentra merupakan perusahaan penghasil filter rokok sebagai pemasok diberbagai perusahaan rokok di Indonesia, filter rokok yang tidak lolos uji kualitas akan menumpuk dan akhirnya menjadi limbah tidak terolah, filter rokok non – pakai ini yang akan dimanfaatkan sebagai karbon aktif untuk mengadsorpsi kandungan gas CO dan NOx pada asap rokok baik *mainstream smoke* maupun *sidestream smoke*.

Filter rokok yang digunakan adalah filter rokok jenis *capsule* dan *charcoal*, *FR-Capsule* mengandung 95% selulosa asetat yang didalam filturnya terdapat kapsul essens sedangkan *FR-Charcoal* mengandung 15-30% karbon aktif didalam filturnya. Filter rokok non pakai ini diaktivasi dengan larutan KOH 65% menggunakan perbandingan 4:1 antara larutan dan karbon. Karbon aktif ini akan dirangkai dengan sistem HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) untuk selanjutnya dipergunakan sebagai adsorben polutan di dalam reaktor berukuran 0,02 m<sup>3</sup>. Sistem HVAC adalah sisitem tata udara di dalam ruangan yang terdiri dari *static pressure fan*, *pre filter*, *adsorben*, dan *hepa filter*. Sistem ini berfungsi untuk mengatur kualitas udara di dalam ruangan maupun yang akan dikeluarkan ke lingkungan.

## **METODE PENELITIAN**

### **A. Alat dan Bahan**

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Reaktor akrilik
- Sistem Heating Ventilation and Air Conditioning
- Gas Analyzer Qrotech QRO402
- CO meter Smart Sensor

Bahan Penelitian

- Rokok kretek,
- Filter rokok non – pakai tipe charcoal dan capsule
- Larutan KOH 65%
- Larutan HCL 10%

### **B. Prosedur Penelitian**

#### **1. Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif**

Filter rokok non pakai yang telah dicacah dimasukan kedalam *furnace* dengan suhu 500°C selama 15 menit, lalu karbon diayak dengan ayakan berukuran 30 mesh yang selanjutnya diaktivasi dengan larutan KOH 65% dengan perbandingan aktivator dengan karbon sebesar 4:1 selama 4 jam. Aktivasi ini bertujuan menciptakan luas permukaan yang besar dan membentuk beberapa pori baru.



**Gambar-1:** Filter rokok non pakai sebelum dan setelah dikarbonisasi

Setelah diaktivasi karbon dicuci dengan larutan HCL 10% sebanyak 5 kali bertujuan membersihkan sisa sisa aktivator KOH agar tidak menutupi pori dan permukaan karbon aktif. Karbon aktif selanjutnya diuji karakteristiknya dengan menguji kadar air, kadar abu total, daya serap terhadap iodin, dan *scanning electron microscope*.

#### **2. Uji Kadar Air**

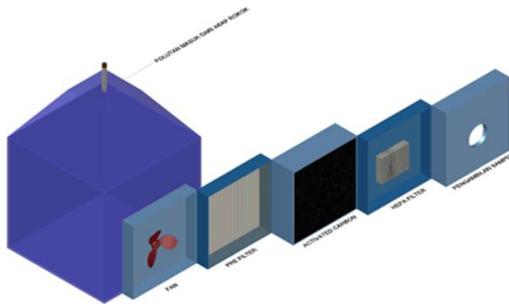
Pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang 5 gram sampel karbon aktif yang ditempatkan pada cawan lalu dimasukan kedalam oven dengan suhu 105°C hingga bobot konstan lalu ditimbang dan dihitung dengan metode SNI karbon aktif tahun 1995.

3. Uji Kadar Abu total

Sampel ditimbang dengan berat 5 gram didalam cawan lalu dimasukan kedalam oven bersuhu 105°C hingga beratnya onstan lalu diabu kan kedalam *furnace* bersuhu 550°C setelah itu ditimbang dan dihitung hingga mendapatkan hasil sebagai berikut.

4. Adsorpsi Polutan CO dan NOx Asap Rokok

Karbon aktif *FR-Capsule* dan *FR-Charcoal* ditimbang dengan variasi massa 500 gram, 750 gram, 1000 gram, setiap variasi massa dirakit dengan sistem HVAC yang sudah dipersiapkan lalu dimasukan kedalam reaktor.



Gambar-2: Reaktor dengan sistem HVAC

Reaktor memiliki volume ruang 0,02 m<sup>3</sup>, volume ini yang akan dijadikan patokan pada pengukuran konsentrasi polutan baik CO maupun NOx. Sampel didapat dari membakar satu batang rokok kretek non filter per perlakuan, lalu asap di masukan ke reaktor melalui inlet, setelah asap terakumulasi di dalam reaktor sistem HVAC segera bekerja dimana asap melewati *exhaust fan* dan akan teradsorpsi oleh adsorben. Reaktor bersifat tertutup dan pada keadaan ideal dimana tidak ada pengenceran oksigen didalam reaktor. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke-5, ke-30, ke-60, ke-90, dan ke-120 pada setiap variasi massa dan variasi jenis adsorben. Pengujian kadar CO dan NOx setelah melewati sistem HVAC menggunakan *gas analyzer* dan CO meter yang dimasukan kedalam *outlet* reaktor.

5. Uji Kejenuhan Karbon Aktif

Uji kejenuhan karbon aktif dilakukan dengan memasukan karbon aktif yang diletakan pada *insect net* kedalam reaktor tertutup tanpa sistem HVAC, pengujian

dilakukan dengan cara adsorben yang telah ditakan pada *insect net* dengan variasi massa 500 gram, 750 gram, dan 1000 gram diletakan kedalam reaktor tertutup lalu dipapari polutan dari rokok kretek non filter baik *mainstream smoke* maupun *side stream smoke* selama 12 jam dengan penambahan batang rokok terus menerus hingga adsorben jenuh. Kejenuhan diketahui bila konsentrasi polutan stagnan dan tidak berkurang saat diadsorpsi oleh karbon aktif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Karakteristik Karbon Aktif

Uji kaarakteristik karbon aktif diperlukan untuk mengetahui kualitas karbon aktif setelah proses aktivasi, pengujian ini selanjutnya akan dibandingkan dengan karakter karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995

1. Uji Kadar Air

Sifat higroskopis yang dimiliki oleh karbon aktif dapat diketahui dengan menguji kandungan air yang ada didalamnya seperti yang ditampilkan oleh Tabel-1.

Tabel-1: Kadar air pada karbon aktif

No	Adsorben	Kadar Abu	Standar Kadar Abu (%)
1	FR – <i>Capsule</i> teraktivasi	4,2 %	Maksimal 4,5
2	FR – <i>Charcoal</i> teraktivasi	3,4 %	

Kadar air pada karbon aktif filter rokok menunjukkan bahwa kadar air yang bebas dan yang terikat telah menguap saat proses karbonisasi sehingga kualitas arang aktif semakin baik. Kadar air pada arang aktif dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jumlah uap air diudara dan lamanya proses pendinginan karbon aktif.

2. Uji Kadar Abu

Pengujian kadar abu bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat pada karbon aktif seperti yang ditampilkan oleh Tabel-2.

Tabel-2: Kadar abu pada karbon aktif

No	Adsorben	Kadar Abu	Standar Kadar Abu (%)
1	FR – <i>Capsule</i> teraktivasi	2,2 %	Maksimal 2,5

2	FR – Charcoal teraktivasi	1,8 %	
---	---------------------------	-------	--

Kadar abu pada arang aktif setelah teraktivasi berada dibawah standar, hal ini karena oksida oksida logam yang menempel pada karbon aktif telah terlarut saat aktivasi, kadar abu yang besar dapat memberikan efek yang buruk pada karbon aktif, karena mineral yang terkandung akan menyebar pada kisi kisi karbon aktif. (Siti,2014)

**3. Uji Daya Serap Iodium**

Uji daya serap terhadap iodium dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam menyerap polutan, bila angka iodium semakin besar maka kemampuan penyerapan polutan yang dimiliki adsorben tersebut juga semakin tinggi.

**Tabel-3:** Daya serap karbon aktif terhadap iodium

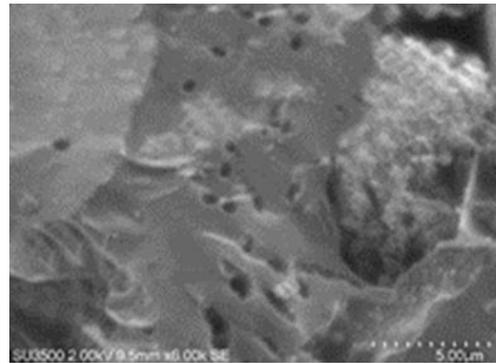
No	Adsorben	Daya Serap Iodium	Baku Mutu
1	FR – Capsule teraktivasi	762,5	Min. 750
2	FR – Charcoal teraktivasi	808,2	

Tabel-3 menunjukkan bahwa angka iod sudah memenuhi baku mutu dimana angka iod FR-charcoal lebih besar dari FR-capsule hal ini disebabkan karena FR-charcoal sudah memiliki kandungan arang aktif sebelumnya. Angka iod yang tinggi pada karbon aktif disebabkan karena zat pengotor yang sebelumnya menempel dan menutupi pori pori karbon telah terlepas akibat dari proses aktivasi.

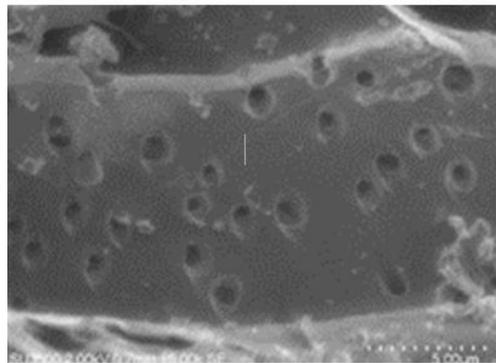
**4. Scanning Electron Microscope**

SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi karbon aktif seperti ukuran pori dan bentuk permukaan karbon aktif seperti terlihat pada Gambar-3 dan Gambar-4.

Gambar-3 menunjukkan morfologi dari karbon aktif FR-capsule, dimana karbon aktif ini memiliki diameter pori sebesar 30 nm - 50 nm. Pada permukaan karbon terlihat pori pori yang terbuka karena telah diaktivasi. Menurut Troy (2017) karbon aktif yang terbuat dari filter rokok dengan kadar selulosa asetat yang besar, baik yang belum digunakan maupun yang telah digunakan memiliki kadar oksigen yang tinggi.



**Gambar-3:** Hasil SEM FR-Capsule setelah Aktivasi



**Gambar-4:** Hasil SEM FR-Charcoal setelah aktivasi

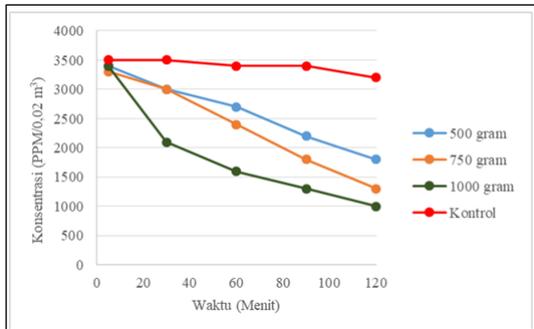
Gambar-4 adalah hasil SEM dari karbon aktif FR-Charcoal, dimana FR-charcoal memiliki ukuran pori 50 nm - 90 nm. Kedua gambar diatas memperlihatkan pori pori karbon aktif yang terbentuk setelah diaktivasi dengan aktivator KOH. Pori pori terlihat terbuka dan permukaan karbon bersih tanpa pengotor. Aktivator KOH sangat berpengaruh dalam pembentukan pori pori karbon, semakin tinggi kadar aktivator kesempatan terbentuknya pori pun semakin besar. Struktur karbon aktif perlu diperhatikan karena berhubungan dengan luas permukaan karbon, bila pori pori karbon aktif besar maka luas area yang tidak berpori semakin kecil (syauqiyyah, 2011)

**B. Uji Efektivitas Karbon Aktif**

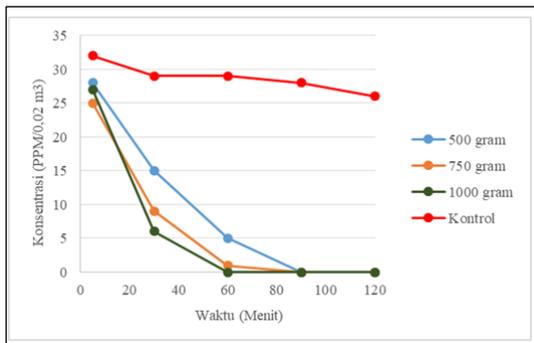
Karbon aktif filter rokok non pakai yang telah dibuat baik tipe capsule maupun charcoal digunakan untuk mengadsorpsi kandungan gas CO dan NOx pada asap rokok untu diuji ke-efektifannya.

1. Adsorpsi Gas CO dan NOx dengan FR-Capsule pada Sidestream Smoke.

Hasil adsorpsi karbon aktif FR-capsule terhadap polutan CO dan NOx sebagai berikut.



**Grafik-1:** Adsorpsi CO dari sidestream smoke dengan FR-capsule



**Grafik-2:** Adsorpsi NOx dari sidestream smoke dengan FR-capsule

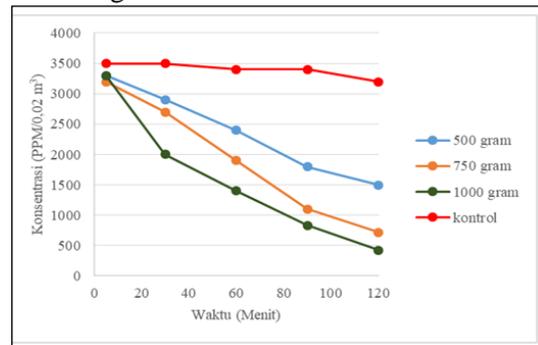
Komponen utama pada asap rokok adalah sidestream smoke karena mengandung setengah dari fase partikulat dan seluruh dari fase gas sehingga kadar polutan pada sidestream smoke lebih besar (Utomo, 2016).

FR-Capsule bermassa 500 gram setelah 120 menit dikontakan ke polutan dari sidestream smoke rokok kretek non filter mengalami penurunan sebesar 43,8% pada polutan CO dan 100% pada NOx dengan konsentrasi akhir CO sebesar 1800 ppm/0,02 m<sup>2</sup> dan konsentrasi NOx pada menit ke 30 sebesar 5 ppm/0,02 m<sup>2</sup>, pada variasi massa 750 gram karbon aktif yang dikontakan dengan polutan mengalami penurunan sebesar 59,4% pada polutan CO dan 100% pada NOx dengan konsentrasi akhir CO sebesar 1300 ppm/0,02 m<sup>2</sup> dan NOx sebesar 2 ppm/0,02 m<sup>2</sup> setelah dikontakan dengan polutan. Variasi massa 1000 gram memiliki penurunan polutan yang lebih baik dari variasi massa yang lainnya karena zona adsorpsinya yang semakin besar. 1000 gram karbon aktif FR-capsule mampu menurunkan kadar CO sebesar 68,8% dan NOx 100% pada waktu kontak 120 menit

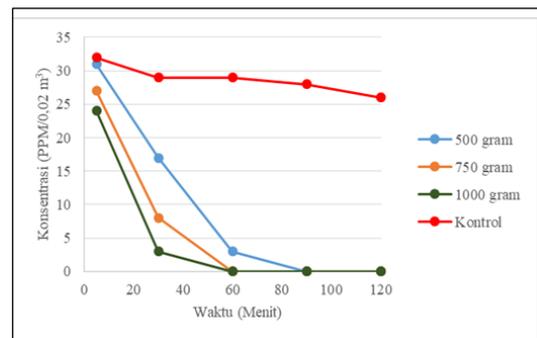
dengan konsentrasi akhir CO 998 ppm/0,02 m<sup>2</sup>. Sidestream smoke sendiri dapat bertahan 2 – 3 jam di udara. Menurut Scotland's Health Information Service merokok di satu ruangan saja pada rumah dapat menyebabkan asap rokok bertahan hingga 4 - 5 jam dibuktikan dengan penelitian ini bahwa sidestream smoke rokok dalam ruangan pada kondisi ideal selama dua jam belum hilang seluruhnya walaupun telah terkontak dengan adsorben.

2. Adsorpsi Gas CO dan NOx dengan FR-Charcoal pada Sidestream Smoke

Hasil adsorpsi karbon aktif FR-charcoal terhadap polutan CO dan NOx sebagai berikut.



**Grafik-3:** Adsorpsi CO dari sidestream smoke dengan FR-charcoal



**Grafik-4:** Adsorpsi NOx dari sidestream smoke dengan FR-charcoal

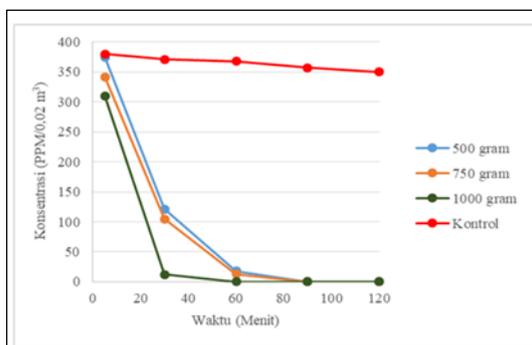
Grafik-3 dan Grafik-4 menunjukkan hasil adsorpsi CO dan NOx oleh karbon aktif FR-charcoal dengan variasi massa 500 gram, 750 gram, dan 1000 gram, FR-charcoal dengan massa 500 gram mampu menurunkan CO hingga konsentrasi akhir sebesar 1500 ppm/0,02 m<sup>2</sup> dengan persen penyisihan 53,1% setelah dikontakan selama 120 menit, sementara NOx turun hingga konsentrasi 3 ppm/0,02 m<sup>2</sup> dengan persen penurunan 89,7% dengan waktu kontak 30 menit.

Pada variasi massa 750 gram CO memiliki persen penyisihan sebesar 77,5% dengan konsentrasi 720 ppm/0,02 m<sup>2</sup> selama 120 menit dikontakan dengan polutan. Variasi massa 1000 gram berhasil menurunkan kandungan CO yang besar pada sidestream smoke hingga dibawah baku mutu, pada waktu kontak 120 menit, kosentrasi CO turun hingga pada konsentasi 422 ppm/0,02 m<sup>2</sup>, dengan persen penyisihan sebesar 86,8%, sedangkan NOx pada menit ke-30 sudah berada pada konsentasi 3 ppm/0,02 m<sup>2</sup>, kadar NOx yang rendah menyebabkan polutan ini mudah teradsorpsi oleh karbon aktif, tetapi bila NOx memiliki kadar yang sama besarnya dengan CO pada keadaan ideal dimana tidak ada pengenceran oksigen persen penyisihan CO akan lebih rendah karena NOx lebih mudah diadsorpsi pada keadaan hipoksida dimana kandungan oksigen sangat rendah.

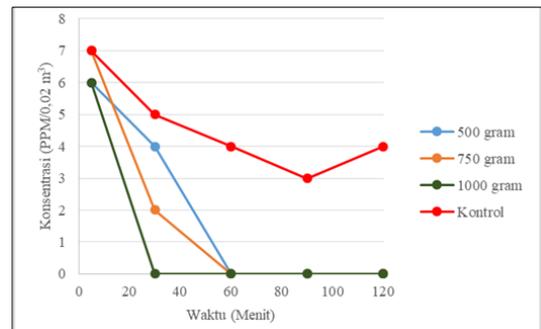
Persen penyisihan oleh karbon aktif FR-charcoal lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif FR-capsule karena sebelum dikarbonisasi pada filter rokok non-pakai tipe charcoal telah memiliki kandungan karbon aktif sebesar 15-30% didalamnya selain selulosa asetat.

3. Adsorpsi Gas CO dan NOx dengan FR-Capsule pada Mainstream Smoke

Hasil adsorpsi karbon aktif FR-capsule terhadap polutan CO dan NOx yang terkandung dalam mainstream smoke sebagai berikut.



**Grafik-5:** Adsorpsi CO dari mainstream smoke dengan FR-capsule

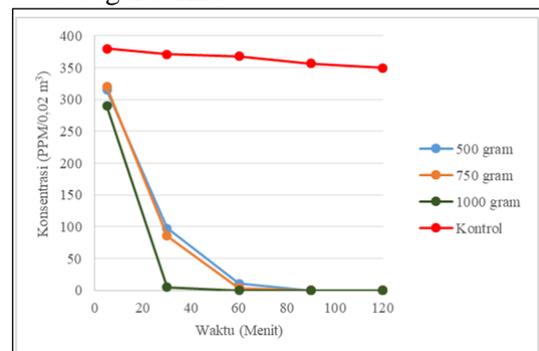


**Grafik-6:** Adsorpsi NOx dari mainstream smoke dengan FR-capsule

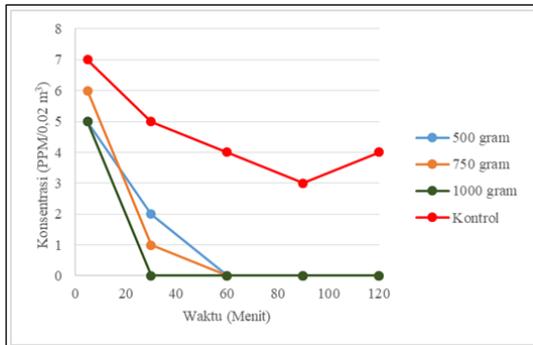
Mainstream smoke mengandung lebih sedikit polutan dibandingkan dengan sidestream smoke hal ini yang menyebabkan adsorpsi polutan lebih cepat. FR-Capsule yang memiliki massa 500 gr pada menit ke-30 mengandung 121 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 4 ppm/0,02 m<sup>3</sup> pada menit ke-60 mengandung 18 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 0 ppm/0,02 m<sup>3</sup>. Variasi massa 750 gram gr pada menit ke-30 mengandung 105 ppm/0,02m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 2 ppm/0,02m<sup>3</sup> pada menit ke-60 mengandung 13 ppm/0,02m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 0 ppm/m<sup>3</sup>. FR-Capsule dengan massa 1000 gram pada menit ke-30 mengandung 12 ppm/0,02m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 0 ppm/0,02m<sup>3</sup> dan pada menit ke-60 polutan CO dan NOx telah bersih.

4. Adsorpsi Gas CO dan NOx dengan FR Charcoal pada Mainstream Smoke

Hasil adsorpsi karbon aktif FR-capsule terhadap polutan CO dan NOx yang terkandung dalam mainstream smoke sebagai berikut.



**Grafik-7:** Adsorpsi CO dari mainstream smoke dengan FR-charcoal



**Grafik-8:** Adsorpsi NOx dari *mainstream smoke* dengan FR-charcoal

FR-Charcoal saat dikontakan dengan polutan pada menit ke-30 dengan kandungan CO sebesar 39 ppm/0,02m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 2 ppm/0,02 m<sup>3</sup> setelah terkontak selama 60 menit kandungan CO menjadi sebesar 24 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx telah bersih, dengan variasi massa 750 gram karbon aktif yang dikontakan pada polutan selama 30 menit kandungan CO sebesar 86 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 1 ppm/0,02 m<sup>3</sup> pada menit ke-60 kandungan CO sebesar 4 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx telah 0 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dengan persen penyisihan CO sebesar 98,9% dan NOx 100%. Pada massa 1000 gram karbon aktif FR-charcoal mengadsorpsi polutan dengan baik sehingga pada menit ke-30 kandungan CO telah turun hingga mencapai nilai sebesar 5 ppm/0,02 m<sup>3</sup> dan NOx sebesar 0 ppm/0,02m<sup>3</sup> dengan persen penurunan CO adalah 98,7 dan NOx 100% hanya dengan waktu kontak 30 menit. Kadar pada *mainstream smoke* sudah dibawah baku mutu bahkan sebelum dilakukan *treatment* sehingga proses penyerapan polutan lebih mudah bagi adsorben.

### C. Uji Kejenuhan Karbon Aktif

Waktu kontak dan jumlah batang rokok dipergunakan untuk mengetahui kejenuhan adsorben dalam menyerap polutan. Uji kejenuhan dilakukan sesuai variasi massa adsorben dan jenis asap rokok.

FR-Capsule pada massa 500 gram akan jenuh bila dikontakan dengan *sidestream*

*smoke* pada satu batang rokok dengan waktu kontak delapan jam, saat jam ke-8 CO berada pada konsentrasi 1200 ppm dan NOx 0 ppm. Pada FR-Capsule dengan massa 750 gram, adsorben jenuh pada jam ke-9 dengan dua batang rokok dan besar konsentrasi CO yaitu 2300 ppm dan NOx sebesar 0 ppm dan FR-Capsule massa 1000 gram, jenuh pada dua batang rokok dengan *sidestream smoke* pada jam ke-10 dengan konsentrasi CO sebesar 1000 ppm dan NOx 0 ppm. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama waktu kontak polutan terhadap adsorben maka semakin berkurang kemampuan penyerapannya karena pori dan permukaan telah dipenuhi polutan (Basuki,2007)

Adsorben FR-Charcoal 500 gram sudah terlihat jenuh pada batang rokok ke-2 dengan waktu kontak 10 jam, dimana konsentrasi CO sebesar 288 ppm dan NOx 0 ppm untuk memastikan ditambahkan kembali satu batang rokok, dimana sejak jam ke 0 hingga jam ke 3 konsentrasi CO tidak berubah yaitu sebesar 1300 ppm. FR-Charcoal bermassa 750 gram memiliki kemampuan adsorpsi lebih baik dibandingkan dengan FR-Charcoal bermassa 500 gram dimana FR-Charcoal bermassa 750 gram mengadsorpsi polutan dari tiga batang rokok dan jenuh pada waktu kontak 8 jam. Adsorben FR-Charcoal dengan massa 1000 gram dapat mereduksi polutan dalam empat batang rokok, waktu jenuh pada rokok ke-4 dengan waktu kontak 9 jam dimana konsentrasi CO sebesar 879 ppm pada hal ini adsorben dianggap jenuh karena penurunan konsentrasi CO tidak signifikan. Dibandingkan dengan ketiga variasi massa dan jenis adsorben FR-Charcoal dengan massa 1000 gram memiliki kapasitas yang besar sehingga waktu jenuh terjadi lebih lambat dan jumlah batang rokok yang dapat diserap polutannya semakin banyak, hal ini terjadi karena FR-Charcoal memiliki angka iodin yang paling besar dan memiliki diameter mesopori yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben lainnya.

**Tabel-4:** Kejenuhan karbon aktif terhadap asap

Massa (gram)	Sidestream smoke		Mainstream smoke	
	FR-Capsule	FR-Charcoal	FR-Capsule	FR-Charcoal
500	1 batang (8 jam)	3 batang (jam ke-0)	10batang (9 jam)	20 batang (4 jam)
750	2 batang (9 jam)	3 batang (8 jam)	20batang (2 jam)	35 batang (10 jam)
1000	2 batang (10 jam)	4 batang (9 jam)	20 batang (3 jam)	45 batang (jam ke-0)

FR-Capsule saat digunakan untuk uji kejenuhan *mainstream smoke* rokok membutuhkan setidaknya 10 batang rokok hingga jenuh pada massa FR-Charcoal 500 gram, dimana FR-Capsule 500 gram dengan 10 batang *mainstream smoke* rokok jenuh pada jam ke-8 dengan konsentrasi CO sebesar 199 ppm dan NOx 0, FR-Capsule dengan massa 750 gram mampu mengadsorpsi 20 batang *mainstream smoke* rokok kretek dan jenuh pada jam ke-4 setelah dikontakan dengan 20 batang rokok, FR-Capsule dengan massa 1000 gram tidak jauh berbeda dengan variasi massa 750 gram, jenuh pada 20 batang rokok.

FR-Charcoal dengan massa 500 gram mampu mengadsorpsi *mainstream smoke* dari 20 batang rokok dan jenuh pada jam ke-4 dengan kandungan CO sebesar 1400 ppm dan NOx 0, FR-Charcoal dengan massa 750 gram mampu mengadsorpsi *mainstream smoke* dari 35 batang rokok dimana variasi massa ini jenuh pada jam ke-10 dengan kadar CO sebesar 750 ppm, FR-Charcoal bermassa 1000 gram mampu mereduksi kadar CO dan NOx pada *mainstream smoke* hingga batang rokok ke 45 saat pertama kali dikontakan dengan polutan dimana pada jam ke 0 kandungan CO sebesar 1800 ppm dan NOx sebesar 9 ppm. Untuk uji kejenuhan *mainstream smoke* pada karbon aktif FR-Charcoal membutuhkan banyak batang rokok karena kemampuan adsorpsinya yang besar sehingga mampu mengadsorpsi *mainstream smoke* dari 45 batang rokok. Kemampuan adsorpsi yang besar ini karena karbon aktif FR-Charcoal memiliki diameter mesopori yang besar, angka iodin yang besar dan sebelumnya filter rokok ini telah mengandung karbon aktif tempurung kelapa sebanyak 15-30% didalamnya.

**KESIMPULAN**

1. FR-Capsule setelah teraktivasi memiliki kadar air sebesar 4,2%, kadar abu 2,2%, angka iodin 762,5, FR-Charcoal setelah teraktivasi memiliki kadar air sebesar 3,4%, kadar abu 1,8%, angka iodin 808,2, kedua jenis karbon aktif memiliki ukuran pori mesopori sesuai hasil SEM
2. Persen penyisihan terbaik dimiliki FR-Charcoal variasi massa 1000 gram sebesar 86,8% dan NOx 0 pada *sidestream smoke* dengan waktu kontak 120 menit. Sedangkan pada *mainstream smoke* FR-Charcoal 1000 gram mampu menurunkan kandungan CO sebesar 98,7% pada menit ke 30, dan NOx telah bersih pada menit ke 30.
3. FR-Capsule dengan variasi massa 1000 gram memiliki kemampuan adsorpsi paling baik dibanding dengan massa 500 gram dan 750 gram dengan persen penurunan terbaik pada polutan CO sebesar 68,8% dengan waktu kontak 120 menit pada *sidestream smoke* dan NOx 0 pada menit ke 60.
4. adsorben dengan waktu jenuh terbaik adalah FR-Charcoal massa 1000 gram baik pada *sidestream smoke* maupun *mainstream smoke*.
5. Penelitian ini efektif diaplikasikan pada ruangan merokok tertutup dengan sirkulasi udara yang minim.

**DAFTAR PUSTAKA**

Gallego et al. (2013). Experimental Evaluation of VOC Removal Efficiency of Coconut Shell Activated Carbon Filter for Indoor Air Quality Enhancement, *Catalunya, Building and Environment*.

Gogia Dikshant, Kaushik Chirag, Hasija. (2018). Integrated Air Purifier for Vehicles/Homes, *India, International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE)*.

Hamzah Yanuar, Umar Lazuardi. (2017). Preparation of creating active carbon from cigarette filter waste using microwave-induced KOH activation., *Riau, Journal of Physics: Conference Series*.

Kabrein H et al., (2017). Impact Of The Air Filtration On Indoor Particle Concentration By Using Combination Filters In Offices Building, *Malaysia, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 243*.

- Kagawa Satoshi, Keisuke Suzuki, Lei Hosaka. (2015). Preparation Of Activated Carbons From Cigarette Butts, *Japan Kanto Gakuin University*.
- Mondal Sujon, Soham De and Dr. Saha Purnachandra. (2019). Removal of VOCs and Improvement of Indoor Air Quality Using Activated Carbon Air Filter, *India, Proceedings of National Conference on Advances in Structural Technologies*.
- N. Cvetcovic, B. Adnadjevic, M. Nikolic. (2012). Catalic Reduction Of NO And Nox Content In Tobacco Smoke, *Yugoslavia, Belgrade University*.
- Nurullita Ulfa, Mifbakhuddin. (2015). Adsorbsi Gas Karbon Monoksida (CO) Dalam Ruang Dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dan Kulit Durian, *Semarang, The 2nd University Research Coloquium*.
- Song-Yng Lee, Tushar K. Ghosh,. (2014). Environtmental Tobacco Smoke Removal Capability Of Activated Carbon, *UK, University of Otago*.
- Troy Scott Blankenship, Robert Mokaya. (2017). Cigarette Butt-Derived Carbon Have Ultra-High Surface Area And Unprecedented Hydrogen Storage Capacity, *UK, Universiy of Nottingham*.
- World Health Orgaization, (2017). Guidelines On Heating, Ventilation, And Air Conditioning System For Non-Sterile Pramaceutical Products, QAS/15.639/Rev.2
- Yuliusman, Dunggio M. (2014). Adsorpsi Karbon Monoksida (CO) Dan Penjernihan Asap Kebakaran Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Termodifikasi TiO<sub>2</sub>, *Depok, Prosiding Seminar Nasional TEKNOIN*.