

# **DESAIN MASKER KAIN UNTUK MENCEGAH PENULARAN COVID DAN MODIFIKASINYA MENGUNAKAN KARBON AKTIF BIOMASSA**

**Wara Dyah Pita Rengga<sup>1</sup> dan Bina Ikawati<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang**

**<sup>2</sup>Balai Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Banjarnegara**

**email: wdpitar@mail.unnes.ac.id**

## **Abstrak**

Penyakit COVID-19 memiliki potensi besar untuk mengganggu hubungan sosial. Manusia dapat tertular dan mengalami sakit melalui jalur pernafasan atau udara. Penguasaan media dan upaya perlindungan pada manusia berfokus pada upaya perlindungan. Masker pernafasan merupakan media yang mempunyai kemampuan menyerap gas beracun di lingkungan sekitar. Berbagai jenis masker memberikan tingkat perlindungan yang berbeda pada pengguna. Pemanfaatan bahan masker yang beredar di pasaran dengan penambahan karbon aktif dapat meningkatkan fungsi masker. Sifat adsorptif karbon yang berpori dalam bentuk matriks yang kaku dengan luas permukaan tinggi. Permukaan karbon mempunyai keistimewaan pada gugus fungsi yang bermacam-macam. Karbon aktif diproduksi dengan suhu tinggi dan aktivasi kimiawi dari limbah biomassa. Pori-pori dalam jaringan kisi karbon aktif memungkinkan pembuangan kotoran dari media gas dan cair melalui adsorpsi. Dengan demikian penyakit COVID-19 yang ditularkan oleh virus dapat dicegah masuk ke pernafasan pengguna melalui penggunaan masker. Jumlah lapisan kain dapat dikombinasikan dengan karbon aktif yang bermanfaat untuk menyerap dan menginfeksi virus karena merupakan adsorben serbaguna penghalang kontaminan organik, anorganik, dan patogen.

Kata kunci: Adsorpsi, karbon aktif, masker, COVID-19, virus

## A. PENDAHULUAN

Pengendalian COVID-19 oleh virus korona SARS-CoV-2 dapat didasarkan pada pengetahuan cara penularannya yang sebagian besar melalui jalur pernapasan (Yi, dkk., 2020). Jika jarak antar individu aman maka alat pelindung diri (APD) adalah mode yang diterima sebagai perlindungan diri. Masker dibutuhkan sebagai penghalang fisik untuk tetesan pernapasan yang masuk melalui hidung dan mulut sebagai lewatan keluarnya tetesan dari manusia yang terinfeksi (Leung, dkk., 2020). Beberapa jenis masker untuk menutup hidung dan mulut dengan disesuaikan dengan masker yang sudah ada dan beredar di pasaran. Penggunaan jenis kain dan sifat dari kain dan performa kain sangat mempengaruhi masker, karena keutamaan maske adalah lapisan kain. Selain dari sisi jenis kain, bentuk dari masker juga berlainan. Namun demikian inti dari desain masker ini adalah mempunyai kemampuan untuk menyaring virus supaya tidak masuk ke pernafasan. Penggunaan masker tetap dipertahankan pada performanya ukuran pori yang semakin rapat dapat memfilter material atau senyawa atau mikroba lain untuk masuk menembus masker.

Kombinasi yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan suatu material yang semakin menjaga ketahanan dari masker untuk dapat menjerap lebih banyak. Material penjerap organik dapat dibuat dengan menggunakan *fixed carbon* dari biomassa. Pembuatannya dengan cara pirolisis dengan beberapa metode untuk mengubah biomassa menjadi arang. Arang tersebut diproses pirolisis dengan suhu yang lebih tinggi dan secara kimiawi diaktivasi untuk menghasilkan karbon aktif. Dalam desainnya, karbon aktif tersebut dimasukkan ke beberapa bagian lapisan masker untuk dimanfaatkan sebagai masker pencegahan. Pengembangan dilakukan terhadap masker bahwa adanya bahan yang antimikroba meningkatkan ketahanan masker pada virus. Ekstrak herbal dari tanaman Indonesia banyak dimanfaatkan. Selain ini ada nanopartikel biasanya logam golongan transisi bersifat antibakteri sehingga dapat untuk meningkatkan kemampuan masker. Nanopartikel

tersebut ditempelkan dengan menambahkan kemampuan untuk membunuh virus COVID.

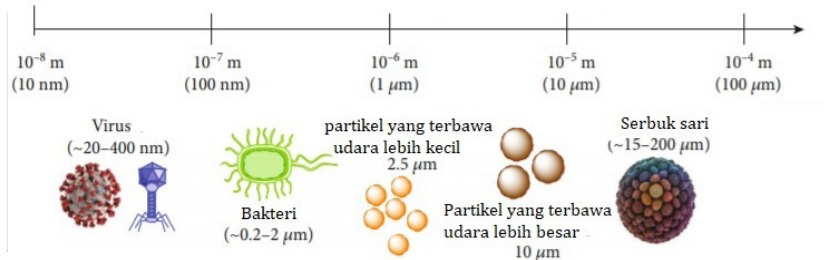
## **B. PERLINDUNGAN MASKER SECARA UMUM**

Ada banyak jenis masker wajah yang menawarkan berbagai tingkat perlindungan bagi pengguna. Masker dan respirator dapat digunakan kembali atau hanya sekali pakai, termasuk masker bedah, respirator N95 dan KN95. Masker tersebut digunakan untuk melindungi pemakai terhadap kontaminan di udara, seperti serbuk sari, asap kimia, dan patogen.

Kapasitas penyaringan dan perlindungan terhadap polutan dan patogen, tergantung dari bahan dan desainnya (Mueller, dkk., 2020; Long, dkk., 2020). Ukuran setiap kontaminan di udara sangat berbeda, misalnya pada serbuk sari adalah sampai 200  $\mu\text{m}$ , partikulat udara mencapai ukuran 2,5-10  $\mu\text{m}$ . Adapun untuk bakteri dan virus terbagi pada ukuran 2  $\mu\text{m}$  dan 400 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. SARS-CoV-2 memiliki ukuran mulai dari rata-rata 100 nm (Zhu, dkk., 2020) lebih kecil dari bakteri.

Ukuran yang diharapkan untuk dapat menyaring virus dapat menggunakan masker atau alat pernafasan lainnya yang terbuat dari bahan dengan ukuran pori yang sesuai. Katun dan kain sintetis, tidak dapat secara efektif menyaring virus ini atau virus kecil yang sarat tetesan. Bahan yang mempunyai multifungsi dengan sifat hidrofobik, antimikroba, desinfektan sendiri dan mengeksplorasi teknologi baru untuk efisiensi produksi dan kustomisasi masker lebih dari 2 dimensi (Swennen, dkk., 2020). Masker dan respirator yang terbuat atau dilapisi dengan bahan tahan air lebih efektif terhadap tetesan pernafasan yang sarat virus dan tumpahan cairan. Selain kapasitas penyaringan, faktor kenyamanan pengguna dan kemampuan bernapas harus dipertimbangkan. Peningkatan perlindungan yang diberikan oleh masker meliputi bahan, kapasitas penyaringan, desain masker dan

respirator mencakup kemampuan bernapas, kenyamanan pengguna, pengembangan dan rekayasa masker.



**Gambar 8.1.** Ukuran Relatif dari Kontaminan dan Patogen yang Umum di Udara (Chua, dkk., 2020)

Meskipun masker *particulate* respirator N95 (Gambar 8.2) yang ketat memiliki kapasitas penyaringan yang lebih baik daripada masker bedah, namun alat ini memiliki kemampuan bernapas yang lebih rendah dan dapat menyebabkan ketidaknyamanan setelah berjam-jam dipakai. Efektivitas penggunaan masker dalam pencegahan penyakit menular (Leung, dkk., 2020). Banyaknya permintaan masker bedah dan respirator telah menyebabkan kekurangan pasokan dan bahan mentah akibatnya, banyak orang terpaksa membuat masker sendiri, mendaur ulang masker bekas, atau memilih masker yang menawarkan perlindungan lebih baik. Oleh karena itu, para peneliti dan pelaku industri telah bekerja keras untuk mengatasi masalah kekurangan, serta meningkatkan perlindungan yang didukung oleh model masker yang ada. Upaya ini adalah mencari dan merekayasa bahan alternatif dengan kapasitas pemfilteran yang memadai. Selain itu juga perlu adanya rekayasa desain masker dan respirator untuk perlindungan, sirkulasi udara, dan kenyamanan pengguna yang lebih baik. Pengembangan dan rekayasa masker dan bahan multifungsi dengan sifat hidrofobik, antimikroba, desinfektan sendiri.

### C. PENULARAN COVID-19 PADA JALUR PERNAFASAN

Penularan patogen COVID-19 dapat ditularkan melalui tiga jalur, yaitu kontak, tetesan, dan penyebaran udara (Jayaweera, dkk., 2020). Transmisi kontak secara langsung artinya virus berpindah melalui tangan yang terkontaminasi. Kontak tidak langsung artinya melalui benda atau bahan yang dapat membawa infeksi, dan disebarkan melalui sentuhan. Virus dapat bertahan untuk beberapa waktu pada benda mati (Van Doremalen, dkk., 2020). Jika ada permukaan yang terkontaminasi dan kemudian menyentuh mata atau hidung maka area tersebut menjadi inokulasi virus ke permukaan mukosa (Kutter, dkk., 2020).



Gambar 8.2. Masker N95 (<https://nasional.kompas.com/read/2021>).

Penyebaran tetesan dan penyebaran udara adalah cara penularan virus yang berbeda melalui udara. Virus yang dilepaskan ketika orang yang terinfeksi batuk, bersin, bernyanyi, berbicara, atau hanya menghembuskan napas dapat ditemukan dalam partikel dengan berbagai ukuran (Leung, dkk., 2020). Umumnya, partikel yang lebih besar dari 5 $\mu$ m diperkirakan jatuh ke tanah dalam jarak 1 meter (Bourouiba, 2020), faktor-faktor lingkungan dapat ditingkatkan hingga 7–8 m,

dan kecepatan angin (Dbouk dan Drikakis, 2020). Penyebaran melalui udara terjadi dengan patogen yang ditemukan pada tetesan yang dihembuskan dengan diameter  $<5\mu\text{m}$ . Partikel-partikel ini tetap mengambang untuk beberapa waktu dan dapat menempuh jarak yang jauh.

Virus pernapasan dapat menyebar melalui rute udara termasuk virus cacar air, RNA influenza, coronavirus, dan rhinovirus. Proses yang lebih mendasar seperti pada saat berbicara juga dapat menyebabkan pelepasan tetesan dan aerosol yang berpotensi menular melalui jalur udara. Bantuan hamburan sinar laser terdapat mengemisi rata-rata sekitar 1000-10000 partikel tetesan/detik saat pidato (Anfinrud, dkk., 2020). Para penulis memperkirakan bahwa 1 menit berbicara keras menghasilkan lebih dari 1000 tetesan yang mengandung virus (Stadnytskyi, dkk., 2020). Sebagai alternatif, partikel pernapasan antara  $0,5\mu\text{m}$  dan  $5\mu\text{m}$  dapat dicitrakan dengan ukuran partikel aerodinamis. Jumlah partikel yang dipancarkan meningkat dari 6 partikel per detik saat berbisik menjadi 53 partikel per detik pada suara paling keras, sehingga partikel pada saat kita berbicara baik lirih atau keras berpotensi adanya penularan Covid.

#### **D. MASKER SEBAGAI PENGHALANG FISIK PENULARAN**

Masker berfungsi sebagai penghalang fisik dan tampak lebih efektif saat dikenakan oleh orang yang mengeluarkan tetesan air. Pelindung ini secara umum telah menunjukkan efek dalam mengurangi emisi virus dari pasien yang terinfeksi. Masker bedah diuji kemampuannya untuk memblokir pelepasan berbagai virus dengan mempelajari jumlah virus yang ada di dalam napas pasien. Partikel dapat dipisahkan berdasarkan ukuran pada rentang kurang dan lebih dari  $5\mu\text{m}$ . Setelah memakai masker, tidak ada virus korona yang terdeteksi pada 11 pasien, sedangkan flu terdeteksi pada 1 dari 27 pasien. Hal ini menunjukkan bahwa masker bedah dapat mengurangi pelepasan virus corona dan flu dari orang yang terinfeksi.

Ketika virus influenza yang dihembuskan terbagi menjadi beberapa fraksi berdasarkan ukurannya, ditemukan bahwa masker bedah sangat efektif untuk menghilangkan/melepaskan flu dari fraksi kasar yang lebih besar ( $\geq 5\mu\text{m}$ ) sedangkan untuk fraksi yang kecil, kurang efektif (Lelieveld dkk, 2020). Penggunaan masker juga telah terbukti melindungi individu yang kontak langsung dengan orang yang terinfeksi.

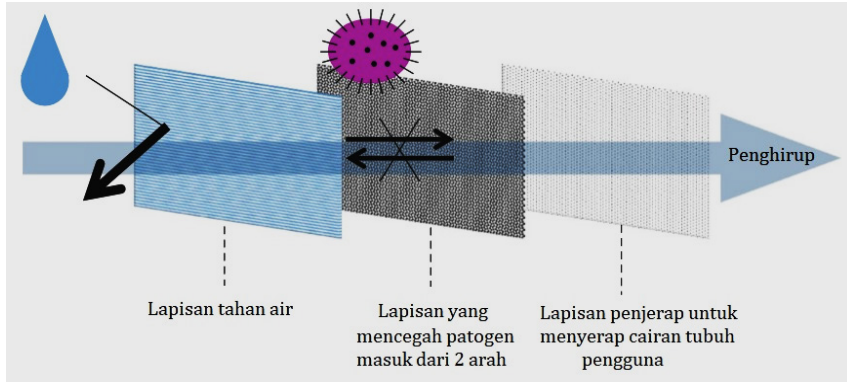
Diketahui bahwa memakai masker adalah satu-satunya tindakan perlindungan yang paling penting dalam mengurangi kemungkinan terinfeksi, dan orang yang memakai masker bedah atau masker N95 sangat mencegah penularan Covid. Petugas kesehatan tidak memiliki perbedaan yang signifikan dalam hasil infeksi flu saat memakai N95 dan masker bedah, hasil menunjukkan bahwa kedua jenis masker medis dapat melindungi dengan cara yang sama (Radonovich, dkk., 2019).

Metaanalisis dilakukan pada studi klinis untuk mengeksplorasi efek perlindungan dari masker. Mengenakan masker melindungi individu dari penyakit serupa flu, menunjukkan rasio risiko 0,34, dengan interval kepercayaan 95% 0,14 -0,82. Namun ada yang menghasilkan sedikit perbedaan dalam perlindungan, dengan rasio risiko 0,84 dan interval kepercayaan 95% 0,36-1,99 menunjukkan tidak ada perbedaan risiko yang signifikan (Offeddu, dkk., 2017). Penggunaan masker wajah secara luas oleh masyarakat umum secara signifikan mengurangi tingkat penularan dan jumlah kematian masyarakat (Eikenberry, dkk., 2020).

## Masker Bedah

Masker bedah biasanya digunakan dalam pandemi COVID-19. Masker ini dibuat dari 3 lapis kain (bukan tenunan) dengan setiap lapisan memiliki fungsi tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Lapisan terluar yang ditunjukkan pada lapisan biru mempunyai sifat tahan air dan dapat membantu mengusir cairan seperti tetesan mukosaliva. Bagian tengah adalah filter, yang mencegah partikel atau patogen di atas ukuran tertentu menembus ke arah mana pun. Lapisan paling dalam terbuat dari bahan penyerap untuk menjebak tetesan

mukosaliva dari pengguna. Lapisan ini juga menyerap kelembapan dari udara yang dihembuskan, sehingga meningkatkan kenyamanan.



Gambar 8.3. Ilustrasi yang Menunjukkan Fungsi Masing-masing Lapisan Masker Bedah 3 Lapis (Chua, dkk., 2020).

## Masker Terbuat dari Bahan Rumah Tangga

Bahan kain untuk masker rumah tangga yang telah digunakan untuk membuat masker biasanya termasuk kain katun, pakaian, sutra, kertas tisu, handuk dapur, sarung bantal, dan kain teh. Dalam pandemi influenza H1N1, para peneliti menguji efisiensi masker buatan sendiri terhadap masker komersial, dalam hal perlindungan ke dalam jangka pendek (10-15 menit), perlindungan ke dalam jangka panjang (3 jam), dan pencegahan penularan ke luar. Efektivitas tiga jenis masker yaitu N95, masker bedah dan masker buatan sendiri yang terbuat dari kain. Dalam uji perlindungan jangka pendek, semua masker memberikan perlindungan bagi orang dewasa dan anak-anak dari partikel di udara. N95 FFP-2 memberikan perlindungan terbaik bagi orang dewasa (25 kali lipat masker bedah dan 50 kali lipat masker buatan sendiri), sedangkan masker buatan sendiri memberikan perlindungan paling rendah.

Faktor lain selain material adalah desain, kecepatan, kesesuaian dengan wajah pemakainya dan sifat partikel yang dituju, juga mempe-



ngaruhi performa dari keseluruhan masker. Penguji efektivitas masker buatan sendiri terhadap bakteri dan virus aerosol (*Bacillus atrophaeus*) dengan ukuran 0,95–1,25  $\mu\text{m}$ , dan bakteriofag MS2 berukuran 0,023  $\mu\text{m}$ ) (Davies, dkk., 2013). Masker dibuat dari berbagai bahan rumah tangga biasa, termasuk kaos katun 100%, syal, handuk teh, sarung bantal, sarung bantal antimikroba, campuran katun, linen, dan sutra. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, semua bahan mampu menghalangi mikroorganisme (*A. Autophaeus*) dengan derajat yang berbeda.

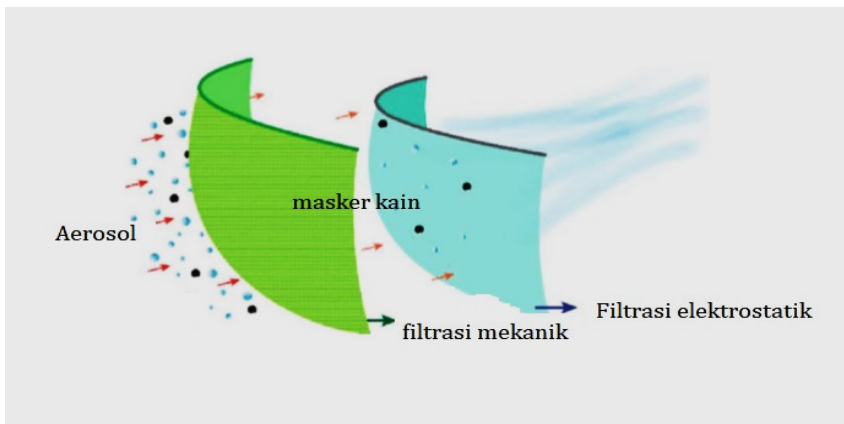
Meskipun menggunakan masker bedah sebagai kontrol sampel yang memiliki efektivitas tertinggi, handuk teh, dan campuran kapas juga menunjukkan filtrasi efisiensi lebih tinggi dari 70%. Yang paling efisien adalah syal, sarung bantal, dan sutra, yang sebagian besar memiliki efektivitas > 50%. Faktor penting lainnya yang perlu diperhatikan saat menggunakan masker wajah adalah kemudahan bernafas, yang ditunjukkan dengan penurunan tekanan. Semakin tinggi penurunan tekanan, maka semakin tinggi kesulitan pemakai untuk bernapas.

Tabel 8.1. Efisiensi Filtrasi dan Penurunan Tekanan untuk Bakteri *A. Autophaeus* (David, dkk., 2013)

Bahan	Efisiensi filtrasi (%)	Penurunan Tekanan
Kaos katun 100%	69	4
Syal	62	4
Handuk	83	7
Sarung bantal	61	4
Sarung bantal antimikroba	66	6
Masker bedah	96	5
Campuran katun	75	6
linen	60	5
Sutera	58	5

Masker kain memberikan perlindungan sangat kecil bagi pemakainya dari partikel kurang dari 2,5 $\mu\text{m}$ . Efek dari pencucian dan pengeringan masker kain efisiensi filtrasi PM10 turun 20% setelah siklus pencucian dan pengeringan ke-4, yang disebabkan oleh pe-

ningkatan ukuran pori dan kurangnya serat mikro dalam wilayah pori. Penggunaan masker kain dalam jangka panjang memerlukan peregangan masker secara terus-menerus, memperbesar ukuran pori, sehingga merusak kinerja masker. Membuat masker kain dapat sesederhana menggabungkan dua lapisan kain (Neupane, dkk., 2019). Efisiensi filtrasi tinggi pada masker terhadap partikel aerosol mulai dari ukuran 10 nm hingga 10 $\mu$ m (Konda, dkk., 2020). dengan menggabungkan berbagai kain yang umum tersedia, misalnya, katun-sutra, kapas-chi-on, kapas-annel, dan efisiensi filtrasi untuk partikel <300 nm mencapai di atas 80% dan > 300nm mencapai di atas 90%. Efisiensi tinggi berasal dari efek sinergis dari filtrasi mekanis dari kapas dan filtrasi elektrostatis dari lapisan lain seperti sutra (Gambar 4). Faktor lain yang secara kritis dan signifikan mempengaruhi kinerja keseluruhan masker adalah jumlah lapisan, kepadatan lapisan (benang per inci), dan kesesuaian wajah (bukaan dan celah antara tepi masker dan kontur wajah). Oleh karena itu, pengembangan masker di masa mendatang harus mempertimbangkan faktor-faktor di atas dengan tetap mempertimbangkan kemampuan bernapas, kemampuan dicuci, dan dapat digunakan kembali.



**Gambar 8.4.** Desain Masker Kain Buatan Sendiri dari Bahan Kain Biasa. (Konda, dkk., 2020)

## Masker sebagai Filter Mikroba

Meskipun masker udara sudah menunjukkan efisiensi penangkapan yang sangat baik, namun bakteri, virus, dan jamur di udara yang menempel pada permukaan filter tetap dapat hidup, dan berkembang biak sehingga menimbulkan risiko kontaminasi kedua. Sementara itu, akumulasi mikroorganisme juga menghalangi filter, yang menyebabkan penurunan volume ventilasi dan kerusakan (Komaladewi, dkk., 2018; Woo, dkk., 2017). Oleh karena itu, diperlukan mengembangkan masker antimikroba. Sampai saat ini, berbagai macam agen antimikroba, seperti ekstrak produk alami, partikel nano dari logam dan oksida logam, kerangka logam-organik (MOF), graphene, dan turunannya, telah diteliti untuk memberikan filter udara dengan sifat biosidal.

### E. EKSTRAK PRODUK ALAM SEBAGAI ANTIMIKROBA

Ekstrak antimikroba dari alam berfungsi sebagai penyaring udara dari antimikroba, mempunyai toksisitas rendah, biaya rendah, dan ramah terhadap lingkungan. (Choi, dkk., 2015). Flavonoid dari tumbuhan dapat membunuh mikroba melalui kerusakan fungsi membran sel dan penghambatan DNA gyrase (Sarbu, dkk., 2019). Ekstrak herbal, seperti minyak pohon teh (Mumu, dkk., 2018), ekstrak *Euscaphis japonica* (Huang, dkk., 2015), ekstrak biji grapefruit (Woo, dkk., 2017), ekstrak manggis (Suhartati, dkk., 2019), telah disemprotkan pada permukaan filter serat untuk sifat antimikroba.

Filter serat karbon aktif (ACF) dari *Sophora flavescens*, dan filter ACF yang berlapis menunjukkan efisiensi antimikroba lebih tinggi dari 90%, dengan kapasitas penyerapan toluene (Sim dkk, 2014). Pencampuran *Sophora flavescens* dengan larutan polivinilpirolidon (PVP) untuk *electrospinning* yang menghasilkan membran nano fibrosa antimikroba. Dispersi seragam dari bahan antimikroba di seluruh serat nano polimer hibrida menunjukkan peningkatan efisiensi filtrasi menjadi 99,99%, penurunan tekanan rendah sebesar 3,9% dibandingkan dengan kontrol pada kecepatan udara muka 1,79 cm/detik (Choi, dkk., 2015). Namun,

daya tahan ekstrak produk alami pada aktivitas antibakteri dapat dipengaruhi oleh suhu, atau terdegradasi karena proses oksidasi alami. Antimikroba juga dapat diperoleh dari bahan yang non alami.

Aplikasi paten AS US20110114095A1 mengungkapkan penggunaan kain karbon aktif (ACC) yang diimpregnasi nanopartikel Ag dan Cu sebagai lapisan filtrasi dalam masker wajah (Sharifuddin, dkk., 2019). ACC sendiri menunjukkan aktivitas antivirus (93%) terhadap MS-2 kolifase setelah inkubasi 6 jam, yang ditingkatkan dengan impregnasi AgNPs (98%). Penggabungan AgNPs/ACC ke dalam masker menghasilkan > 99,88% filtrasi virus sementara memiliki permeabilitas udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan masker N95 FFP3.

### **Karbon Aktif sebagai Filter dalam Masker**

Karbon aktif dapat digunakan sebagai AC filter, masker gas, ventilator, pengendalian bau, penghilangan patogen, pemurnian logam, dan filter udara tekan (González-García, 2018). Bahan apapun yang memiliki kandungan karbon tinggi dan sedikit anorganik dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif. Biomassa limbah digunakan terutama untuk produksi AC dengan kemampuan adsorpsi yang lebih baik dan daya mekanik yang memadai (Reza dkk, 2020a). Banyak prekursor digunakan untuk memperoleh karbon aktif yang cukup dari limbah biomassa seperti jenis akasia, jerami padi, kelapa, bambu, ampas tebu, dan kulit buah, dll (Daud, dkk., 2020). Penggunaan limbah biomassa untuk sumber AC menguntungkan karena lebih murah, melimpah, dan tidak beracun. Kapasitas adsorpsi merupakan ciri utama karbon aktif dalam susunan berpori dan gugus kimia pada luas permukaan (Ahiduzzaman dan Islam, 2016). Energi yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas rumah kaca yang dapat diminimalkan dengan karbon aktif (Hossain, dkk., 2019). Pembuatan karbon aktif melalui prosedur yang menghasilkan kemampuan dengan kapasitas yang besar, selektif dan biomassa yang mudah diperoleh.

Perbandingan filter *melt-blown* (MB) yang terdapat pada masker wajah N95, dengan filter nanofiber (NF) dicek kemampuannya sebagai filter masker untuk mengevaluasi kegunaannya kembali. Aplikasi pembersihan filter dengan dicelupkan atau disemprotkan dengan etanol 75% selama durasi tertentu. Kedua jenis filter tersebut mempertahankan hidrofobisitasnya. Filter NF menunjukkan efisiensi filtrasi tinggi yang konsisten terlepas dari jenis pembersihannya dan ada kecocokan sitokompatibilitas yang lebih baik untuk meningkatkan keamanan melawan penyakit virus corona (Ullah, dkk., 2020).

### Proses Penyiapan Karbon Aktif

Persiapan karbon aktif mengikuti dua tahap utama; tahap pertama adalah karbonisasi, dan tahap kedua adalah aktivasi. Karbonisasi biomassa terjadi melalui proses pirolisis yang menghasilkan biochar (Radenahmad, dkk., 2020). Bahan berkarbon disiapkan dengan menghilangkan hal-hal yang mudah menguap melalui dekomposisi termal pada tahap ini. Proses degradasi termal untuk menguraikan biomassa pada parameter seperti suhu, laju pemanasan, laju aliran gas, dan periode tinggal. Dalam proses ini, volatil dan non-karbon (hidrogen, oksigen, dan nitrogen) dihilangkan (Reza, dkk., 2019). Selama proses devolatilisasi, pori-pori kecil terbentuk pada suhu yang lebih tinggi. Sementara itu *biochar* mempunyai kemampuan adsorpsinya masih rendah.

Fase dari prosedur karbonisasi adalah pada suhu  $\leq 200$  terjadi proses endotermis, pemanasan awal menghilangkan air dalam biomassa. Sementara pada suhu 170-300°C, masih membutuhkan panas dan menghasilkan cairan tar, dan gas (*non-condensable*), sedangkan pada suhu 250-300°C terjadi reaksi eksotermis yang melepaskan cairan pirolisis dan tar. Selanjutnya pada suhu di atas 300°C terjadi penguangan zat volatil dan non-karbon untuk meningkatkan kandungan karbon tetap dari biochar.

Prosedur aktivasi penting untuk mengembangkan volume pori dan luas permukaan. Awalnya, karbon amorf telah dikurangi dengan penambahan zat pengaktif untuk meningkatkan porositas. Terakhir, pori-pori kecil yang ada diperluas ke ukuran yang lebih besar melalui pembakaran dinding pori. Ini meningkatkan pori-pori di antara dan porositas makro untuk mengurangi volume mikropori (Ahmed, 2016). Tingkat pembakaran dan aktivasi merupakan faktor yang signifikan untuk mempersiapkan AC berpori. Aktivasi primer dapat dilakukan dengan proses radiasi fisik, kimia, fisiokimia, atau gelombang mikro (Temdrara, dkk., 2015).

Salah satu metode persiapan yang paling tepat untuk pembuatan karbon aktif adalah pemanasan konvensional. Selama pemanasan konvensional, panas dialihkan ke contoh dengan perangkat konduksi, konveksi, dan radiasi. Permukaan partikel dipanaskan, mendorong gradien termal antara inti dan permukaan setiap partikel. Pemanasan konvensional berlangsung lambat dan tidak homogen

Selama aktivasi fisik, bahan mentah mengalami karbonisasi di bawah suhu kurang dari 700°C, dalam lingkungan bebas oksigen. Respons aktivasi fisik terjadi antara gas pengoksidasi dan atom karbon, yang menghasilkan pori-pori namun waktu dan jumlah energi yang dibutuhkan besar. Aktivasi bahan berkarbonisasi yang diperoleh mengalami suhu yang lebih tinggi menggunakan gas lembam, yang bersifat opsional yaitu uap air ( $H_2O$ ), Nitrogen ( $N_2$ ),  $CO_2$ , dan Argon (Ar) atau kombinasi dari gas-gas ini (Danish dan Ahmad, 2018).

Berbeda dengan aktivasi fisik, aktivasi kimia memberikan beberapa keuntungan, karena prosesnya merupakan campuran dan aktivasi satu langkah, dicapai pada suhu yang lebih rendah dari aktivasi fisik, dan dengan demikian, pengembangan struktur berpori yang lebih berkualitas. Aktivasi kimiawi biasanya disukai karena suhunya yang rendah, tidak rumit, struktur berpori lebih banyak, produksi lebih tinggi, dan waktu aktivasi yang lebih cepat. Namun, masalah yang dijumpai

adalah keharusan untuk membilas produk akhir dari bahan anorganik yang tersisa, yang dapat mengakibatkan pencemaran (KO, dkk., 2018). Beberapa asam ( $H_3PO_4$ , HCl,  $HNO_3$ , dan  $H_2SO_4$ ), basa (NaOH, KOH, dan  $K_2CO_3$ ) dan beberapa oksidan ( $H_2O_2$  dan  $KMnO_4$ ) umumnya digunakan untuk prosedur aktivasi. Aksi asam meningkatkan sifat AC dengan luas permukaan dan porositas yang mengakreditasi efisiensi penghilangan polutan ke permukaan karbon. Gugus fungsional (gugus karboksilat, asam amino, gugus oksigen, dll.) terbentuk pada bagian permukaan karbon aktif.

Simultan aktivasi Fisiokimia dalam satu proses dilakukan setelah proses karbonasi. Aktivasi sebagian besar terjadi pada suhu yang lebih tinggi yaitu 600-850°C dengan adanya bahan kimia, seperti  $H_3PO_4$ ,  $ZnCl_2$ , KOH,  $CO_2$ , atau  $H_2O$  (gas). Meskipun mahal dan memakan waktu, aktivasi fisiokimia dapat menghasilkan karbon aktif dengan sifat permukaan yang signifikan. Proses aktivasi mengarah ke struktur berpori yang dibangun dengan baik. Misalnya, KOH dengan  $CO_2$  dapat membuat pori-pori yang lebih banyak dalam matriks karbon aktif (Ahmed, 2016).

Pemanasan dapat digantikan dengan energi dari Gelombang Mikromagnetik (MW) yang layak dibandingkan dengan metode konvensional. Ini memiliki beberapa fitur luar biasa seperti pemanasan selektif, cepat, akhirnya ke sampel, respons cepat, dan pengatur yang tepat. Kendala kerja yang signifikan adalah kekuatan radiasi MW, sifat prekursor, waktu aktivasi, dan unsur kimia. Dalam proses gelombang mikro, energi ditransfer di dalam partikel sebagai panas melalui penyelarasan dipol dan konduksi ionik. Partikel dengan momen dipol dikaitkan dengan arah berlawanan dari gaya yang diterapkan untuk tegangan tinggi. Oleh karena itu, perbedaan suhu tinggi berkembang pada molekul di dalam dan di luar, yang membuat AC lebih berfungsi dan lebih cepat (Pathak dan Mandavgane, 2015).

## Jenis Karbon Aktif AC

Karbon aktif yang diaktifkan secara kimia dan fisika, biasanya tersedia dalam tiga bentuk, yaitu granular (GAC), serbuk (PAC), dan ekstrusi (EAC). GAC memiliki bentuk kasar yang dibentuk dengan penghancuran dan pengayakan, yang bervariasi dalam diameter dalam 0,2 hingga 5 mm. GACs stabil dan higienis dapat digunakan untuk adsorbat gas dan minyak serta dapat diaktifkan kembali dan didaur ulang. PAC memiliki ukuran partikel 5 -150 Angstrom dan memiliki biaya produksi yang fleksibel. Minyak yang dapat dimakan sering kali dibersihkan dengan PAC dan terus menerus dikombinasikan dengan tanah. EAC adalah karbon aktif dari proses ekstrusi yang berbentuk pelet silinder dengan diameter 1-9 mm. Aplikasi yang signifikan dari EAC adalah dalam pemurnian gas, pemulihan pelarut, penyelamatan emas, dan penggantian regulator mobil (Zhi, dkk., 2014).

## Karakteristik AC

AC adalah bahan berkarbon dengan porositas lebih tinggi dan luas permukaan signifikan dengan gugus fungsional yang maksimal. Parameter yang berbeda seperti diameter pori, kekerasan, kepadatan, bilangan yodium, dan kandungan abu membuatnya sesuai untuk aplikasi tertentu. AC memiliki pori-pori yang dapat diperbaiki dengan bahan kimia permukaan yang dapat disesuaikan, stabilitas kimia/termal, dan aksesibilitas tinggi (Li, dkk., 2019). AC mengandung berbagai senyawa dengan gugus fungsional cincin aromatik yang menjaga sifat kimianya. Gugus ini dapat dimulai pada struktur karbon untuk bekerja melalui pengolahan kimia, termal, dan hidrotermal. AC yang diaktivasi dengan basa KOH dapat memperbesar luas permukaan hingga 1200 m<sup>2</sup> per gram dengan menghilangkan konstituen asam, yang dapat menutup pori-pori. Efisiensi adsorpsi tergantung pada karbon aktif terhadap adsorbat yaitu ukuran pori, luas permukaan, kekerasan, dan kepadatan AC, konsentrasi, daya magneti, sifat kimia, dan kelarutan (Ng, dkk., 2018).



AC untuk penjernihan gas dan udara memiliki luas permukaan BET antara 800-1500 m<sup>2</sup> per gram, sedangkan untuk penjernihan air dalam kisaran 500-1500 m<sup>2</sup>/g (Guilloso, dkk., 2019). Bahan organik yang telah teradsorpsi ke bagian luar AC pada waktu yang lama; memungkinkan diakomodasi untuk terjadi biodegradasi. AC dapat menarik kembali senyawa organik yang mudah menguap di permukaannya dan menghentikan pelepasannya ke atmosfer (Patil, dkk., 2019). Demikian juga ukuran partikel juga menjadi faktor untuk mengarahkan kemampuan menampung adsorbat di dalam pori.

### **Pori-pori AC**

Karakteristik penting AC untuk menghilangkan polutan adalah karakteristik pori. AC melibatkan 'pori-pori dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi. Menurut IUPAC, pori-pori dikategorikan makropori (diameter >50 nm), mesopori (2 ≤ diameter ≤50 nm), dan mikropori (diameter <2 nm). Dalam karbonisasi, volume pori mikro meningkat hingga 700°C. Dalam proses aktivasi, reaksi terjadi terutama antara oksidator dan unsur tar. Proses ini membantu membuka pori-pori yang tersumbat, memperbesar pori-pori kecil, dan membentuk pori-pori baru. Hasilnya adalah volume pori yang lebih tinggi dan luas permukaan yang lebih besar. Pori-pori makro digunakan untuk menjebak kotoran yang lebih besar, dan pori-pori mikro diaplikasikan untuk menjerap molekul minor.

### **Adsorpsi oleh Karbon Aktif**

Adsorpsi AC melalui tiga tahap utama. Pertama, material diserap ke bagian luar matriks karbon. Kedua, material dipindahkan ke dalam pori karbon, dan ketiga, material menyerap adsorbat ke dinding internal karbon (Sorrels, dkk., 2018). Adsorpsi terjadi ketika adsorbat terjebak oleh pori karbon, yang terjadi jika pori karbon sedikit lebih besar dari ukuran kontaminan (Guo dan do, 2012).

Adsorpsi Fisik terjadi ketika permukaan kristal karbon menarik kontaminan melalui gaya Van Der Waals. Kontaminan dapat terjadi di permukaan AC, di mana partikel besar terjebak di lubang yang lebih kecil ukurannya. Adsorpsi fisik bergantung pada konsentrasi kontaminan dalam aliran gas, dan polutan yang diserap. Molekul yang terperap ke permukaan karbon dengan gaya tarik antarmolekul. Adsorpsi ini terjadi di dalam pori-pori dengan radius beberapa kali lebih besar dari panjang molekul molekul yang teradsorpsi. Pori-pori yang lebih kecil dari ukuran pengotor molekul tidak dapat dijangkau dan tidak berkontribusi pada pengembangan adsorpsi (Thommes, dkk., 2015).

Adsorpsi kimia (kemisorpsi) berupa respon langsung dari molekul yang teradsorpsi secara kimia di permukaan aktif karbon aktif. Ikatan kimia terbentuk antara permukaan arang atau AC dan adsorbat (Rosli, dkk., 2017). Kelompok fungsional permukaan karbon yang membawa oksigen dan elektron lainnya berpartisipasi dalam proses ini.

### **Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi**

Ukuran luas permukaan internal karbon aktif memiliki luas permukaan tinggi yang memberikan kemampuan adsorpsi tinggi untuk molekul di beberapa gas dan pelarut. Permukaan yang lebih tinggi penting untuk adsorpsi molekul yang lebih banyak. Ukuran pori mempengaruhi daya serap adsorbat dengan dua cara. Pertama, kapasitas adsorpsi meningkat dengan berkurangnya ukuran pori ketika ada kesesuaian antara adsorbat dan permukaan. Kedua, penolakan ukuran pori tertentu dapat membatasi adsorpsi adsorbat (Lorenc-Grabowska, dkk., 2016).

Pada karbon aktif, keberadaan gugus sulfur dan nitrogen menyumbangkan sifat basa, sedangkan gugus oksigen dan hidrogen menambah sifat asam. Adsorpsi tertinggi terjadi pada adsorpsi pada polutan yang bermuatan positif pada AC yang bermuatan negatif (karbon asam) dengan adanya gugus O dan H (Bizi, 2020). Secara kimia, gugus fungsi

permukaan memiliki peran penting dalam adsorpsi karbon aktif dengan interaksi kimiawi yang kuat, seperti interaksi asam-basa Lewis, gaya tarik/tolakan elektrostatis, ikatan hidrogen, dan ikatan kation-p (Liu, dkk., 2015).

Kemampuan adsorpsi uap organik pada karbon aktif meningkat untuk berat molekul dari adsorbat yang lebih tinggi. Adsorpsi skala-log, koefisien serapan memiliki korelasi positif untuk senyawa hidrofobik dan asosiasi negatif untuk senyawa hidrofilik. Di sisi lain kapasitas adsorpsi AC menurun dengan meningkatnya polaritas dan tekanan udara jenuh (Cheng, dkk., 2017).

Kapasitas adsorpsi AC meningkat secara eksponensial terhadap konsentrasi awal. Kinerja adsorpsi dapat meningkat pada tingkat yang lebih rendah, sedangkan penyerapan dipengaruhi oleh konsentrasi yang meningkat. Sementara itu peningkatan suhu membuat efisiensi penghilangan lebih tinggi oleh karbon aktif. Karbon aktif melebar dan memperdalam mikro-pori, yang menciptakan lebih banyak area permukaan untuk adsorpsi. Ada hal yang lain yaitu nilai pH dapat mempengaruhi kelarutan adsorbat dengan mengubah muatan pada permukaan adsorben (Bernal, dkk., 2018).

## **Karbon Aktif dapat Melindungi Penyakit COVID-19**

Karbon aktif adalah adsorben yang murah dan ramah lingkungan untuk menghilangkan kontaminan dari air dan udara di banyak sektor. Karbon aktif dapat digunakan untuk membantu perlindungan COVID-19. Filter karbon aktif dapat melindungi penyakit COVID-19 karena menyerap virus dari endapan yang tercemar. Adsorpsi ini terjadi karena gaya tarik elektrostatis antara virus dan gugus fungsi karboksil dan amino (Pham, dkk., 2020). Masker yang dilengkapi karbon aktif dapat menjebak dan mendisinfeksi virus corona dengan menyerap kelembapan. Pada saat virus ditangkap, ion elektropositif yang tinggi dapat mengganggu integritas membran dan protein esensial, yang kehilangan kemampuan sel.

Pengurangan dan pencegahan virus melalui karbon aktif terutama tergantung pada peran dari virus dan karbon aktif berupa hidrofobisitas virus, gaya tolak elektroforetik, distribusi ukuran pori, muatan negatif pada permukaan karbon aktif. Jika hidrofobisitas dari permukaan virus lebih banyak maka pencegahan terhadap virus lebih banyak. Hal yang sama dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil adsorpsi yang tinggi maka antara AC dan virus harus mempunyai gaya tolak elektroforesis yang rendah. Volume besar dari karbon aktif dengan pori-pori 20-50 nm dapat menghilangkan virus secara efektif (Matsushita, dkk., 2013). Virus mempunyai protein dengan karakter hidrofobik. Oleh karena itu AC dapat menjadi adsorben dan filter yang efisien untuk menghilangkan virus ini. Virus SARS-CoV-2 dapat membuat ikatan dengan atom karbon melalui ikatan hidrogen di tingkat pertama, interaksi  $\pi$ - $\pi$  di tingkat kedua, dan interaksi Van der Waals di tingkat ketiga (Ibrahim, dkk., 2020). Dalam proses membran, karbon aktif mengarah pada konfigurasi dan optimalisasi terbaik untuk menghilangkan virus dan patogen COVID-19 dari air limbah (Ghernaout dan Elboughdiri, 2020). Ada juga hubungan positif antara asap bedah dan penularan virus. Filter karbon aktif dapat menghilangkan asap bedah karena memiliki kemampuan untuk menyerap gas, uap, dan gas yang berbau kuat (Mowbray, dkk., 2020). Perawatan yang tepat harus dilakukan selama penggunaan kembali filter AC sesuai dengan aturan dan standar (El Gamal, dkk., 2018).

Alat pelindung diri seperti masker tidak tersedia mengakibatkan petugas layanan kesehatan mungkin menggunakan masker buatan sendiri untuk perawatan pasien dengan COVID-19. Meskipun aerosol dan tetesan dapat dihilangkan melalui serat kain melalui serangkaian mekanisme filtrasi, kinerja filtrasinya belum dievaluasi secara rinci. Selain itu, ada serangkaian bahan non-medis yang tersedia di pasaran, seperti penyaring udara rumah tangga, penyaring kopi, dan jenis kain yang berbeda, yang mungkin berguna jika sungkup muka dan respirator tidak tersedia.

Evaluasi secara komprehensif pada kinerja filtrasi tergantung dari ukuran dari bahan non-medis. Hambatan aliran di seluruh bahan filter ini diukur sebagai indikator daya tahan bahan. Hasilnya menggambarkan bahwa beberapa lapisan filter udara rumah tangga dapat mencapai efisiensi filtrasi yang serupa dibandingkan dengan bahan N95 tanpa menyebabkan peningkatan hambatan aliran yang signifikan. Empat jenis bahan medis dan tiga belas jenis bahan non-medis (43 kombinasi konfigurasi filter). Filter berserat, seperti filter udara rumah tangga, dapat mencapai efisiensi filtrasi dan hambatan aliran. mirip dengan bahan masker N95. Mengingat bahwa filter udara ini dapat melepaskan serat mikrometer selama proses pemotongan dan pelipatan, disarankan agar filter ini dimasukkan ke dalam beberapa lapisan kain saat membuat masker atau respirator.

Beberapa bahan dengan jumlah benang yang berbeda, relatif tidak efisien untuk menampung aerosol sehingga menyebabkan penurunan tekanan yang besar, yang dapat menyebabkan kesulitan bernapas. Selain itu, ada hubungan positif antara jumlah benang kain dan efisiensi filtrasi. Perbedaan antara bahan berserat dan kain adalah bahwa bahan berserat selanjutnya dapat menghilangkan aerosol dengan mekanisme elektrostatis. Mekanisme tambahan ini memungkinkan penghilangan aerosol yang memadai pada permeabilitas material filter yang relatif besar.

Beberapa rekomendasi tentang pembuatan masker wajah buatan sendiri dengan kombinasi bahan berserat dan kain dapat menjamin pembuangan aerosol yang memadai dan menghindari menghirup serpihan serat yang dihasilkan selama pemotongan dan pelipatan filter berserat. Jika bahan berserat tidak tersedia, bahan kain perlu dilipat dengan beberapa lapisan untuk meningkatkan efisiensi penyaringan. Namun, pemakainya perlu memastikan penyegelan antara masker dan wajah, karena hambatan aliran yang terkait dengan kain terlipat ini relatif tinggi.

## Nanopartikel Logam yang Ditempelkan pada Karbon Aktif

Nanopartikel logam dan senyawanya telah menarik perhatian besar sebagai agen antimikroba yang manjur karena rasio permukaan-volume yang tinggi (Beyth, dkk., 2015). Nanopartikel memiliki mekanisme aksi biosidal yang berbeda, mekanisme yang umumnya diusulkan meliputi (i) gangguan metabolisme membran sel akibat penetrasi nanopartikel dan/atau pelepasan ion logam dan (ii) efek fotokatalitik, sebagai spesies oksigen reaktif (ROS) seperti hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) dan radikal superoksida ( $\text{O}_2^-$ ) yang dihasilkan, yang menyebabkan stres oksidatif pada mikroorganisme dan menyebabkan inaktivasi (Binas, dkk., 2017). Partikel nano perak ( $\text{Ag}$ ,  $\text{Ag}^+$ ) (Chen, dkk., 2016; Rengga dkk, 2017), titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) (Wang, dkk., 2016), seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) (Bernal, dkk., 2018), dan aluminium dan aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Choi, dkk., 2018) telah digabungkan ke berbagai filter untuk sifat antimikroba.

Filter udara antimikroba dapat disinergikan dengan agen biosidal, filter udara multifungsi, yang secara bersamaan menghilangkan PM, mikroorganisme, dan senyawa organik volatil (VOCs) (Zhao, dkk., 2017). Filter udara multifungsi terintegrasi memberikan solusi yang menjanjikan untuk ditangani penurunan tekanan tinggi seringkali disebabkan oleh beberapa filter dengan fungsi berbeda yang digunakan dalam filter udara.  $\text{Ag}/\text{ZnO}$  nanorod pada nanofiber membran berfungsi dengan baik sebagai sifat antibakteri dinamis *Escherichia coli*, dan laju degradasi formaldehida 60% dan juga pemanfaatan fotokatalitik baik  $\text{ZnO}$  dan nanosilver (Feng, dkk., 2017). Fungsionalitas antimikroba dari nanopartikel  $\text{Ag}$ , serta kinerja katalitiknya (Rengga, dkk., 2017) untuk degradasi formaldehida, sangat meningkat bila dimuat pada area permukaan CNT yang tinggi. Berkat integrasi sinergis, filter hibrida  $\text{Ag} @ \text{MWCNTs} / \text{Al}_2\text{O}_3$  menunjukkan tingkat antimikroba yang sangat baik (>98%). Nanopartikel tembaga merupakan mikrobisida kuat untuk yang luas spektrum mikroorganisme.

Baru-baru ini, penelitian dengan menggunakan nanopartikel tembaga terbukti efektif melawan COVID-19, yang mengancam seluruh

dunia (Tamayo, dkk., 2016). Meskipun nanokomposit tembaga-polimer telah dieksplorasi untuk aplikasi antimikroba, integrasi nanopartikel tembaga ke filter untuk perlindungan pribadi atau penyaringan udara belum dilaporkan. Dengan teknologi yang tepat untuk secara efektif menyimpan nanopartikel tembaga ke matriks filter berserat, diharapkan lebih banyak kemajuan untuk nanopartikel tembaga sebagai lapisan antimikroba dalam filter udara.

## F. SIMPULAN

Permasalahan lingkungan, ekonomi, dan kesehatan masyarakat karena penyakit COVID-19 dihadapi oleh dunia. Masker sangat dibutuhkan untuk perlindungan diri terhadap penularan melalui jalur pernafasan. Pemakaian masker penting dalam mencegah penyebaran infeksi yang ditularkan melalui udara dan melalui tetesan. Setelah itu, mekanisme perlindungan, produksi, dan pengujian kinerja masker komersial banyak dilakukan. Rekayasa masker multifungsi dengan sifat seperti aktivitas antimikroba, hidrofobisitas, permukaan tembus pandang transparan, pembersihan penginderaan, kemampuan mandiri, dan kemampuan evensing dan deteksi. Akhirnya, implikasi lingkungan dari pemakaian masker yang meluas dan peningkatan produksi masker untuk menemukan solusi yang lebih berkelanjutan untuk mendukung pemakaian masker jangka panjang, bahkan setelah akhir dari wabah, dieksplorasi. Masker dapat dimodifikasi dengan beberapa metode. Ditawarkan adanya bahan dan desain untuk perlindungan yang lebih baik bagi pengguna terhadap polutan dan patogen bawaan, membuat masker sendiri, memodifikasi masker N95 bekas dielaborasi. Adanya karbon aktif juga dapat menjadi solusi tunggal untuk kapasitas adsorpsi dan pemanfaatan yang ramah lingkungan. Penyerap Karbon aktif dengan struktur atom karbon amorf yang sebagian besar tersusun atas permukaan permukaan yang memiliki kapasitas adsorpsi yang baik. Modifikasi permukaan dapat meningkatkan kapasitas karbon aktif untuk menyerap zat tertentu. Kimia permukaan dapat mempengaruhi

adsorpsi pada kondisi yang berbeda dengan menambahkan bahan hebal atau nanopartikel logam antimikroba. Adsorpsi dapat berupa filter serbaguna untuk menyaring virus, bakteri, logam, pewarna, debu, asap, dan gas beracun secara efektif. Masker yang dikombinasikan dengan karbon aktif, terlindung dari COVID-19, dapat berfungsi dengan terbaik karena dapat menyaring dan mendisinfeksi virus. Penanganan produk karbon aktif juga bebas risiko lebih lanjut diperlukan untuk memeriksa kinerja masker karbon aktif untuk melindungi dari penyakit COVID-19.

## Daftar Pustaka

- Ahiduzzaman, M., & Islam, A. S. 2016. Preparation of porous bio-char and activated carbon from rice husk by leaching ash and chemical activation. *SpringerPlus*, 5(1), 1-14.
- Ahmed, M. J. 2016. Preparation of activated carbons from date (*Phoenix dactylifera* L.) palm stones and application for wastewater treatments. *Process safety and environmental protection*, 102, 168-182.
- Anfinrud, P., Stadnytskyi, V., Bax, C. E., & Bax, A. 2020. Visualizing speech-generated oral fluid droplets with laser light scattering. *New England Journal of Medicine*. 2061-2063.
- Bernal, V., Giraldo, L., & Moreno-Piraján, J. C. 2018. Physicochemical properties of activated carbon: their effect on the adsorption of pharmaceutical compounds and adsorbate-adsorbent interactions. *C—Journal of Carbon Research*, 4(4), 62.1-20.
- Beyth, N., Houry-Haddad, Y., Domb, A., Khan, W., & Hazan, R. 2015. Alternative antimicrobial approach: nano-antimicrobial materials. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2015. 246012, 1-16.



- Binas, V., Venieri, D., Kotzias, D., & Kiriakidis, G. 2017. Modified TiO<sub>2</sub> based photocatalysts for improved air and health quality. *Journal of Materiomics*, 3(1), 3-16.
- Bizi, M. 2020. Sulfamethoxazole Removal from Drinking Water by Activated Carbon: Kinetics and Diffusion Process. *Molecules*, 25(20), 4656.
- Bourouiba, L. 2020. Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: potential implications for reducing transmission of COVID-19. *Jama*, 323(18), 1837-1838.
- Chen, J. W., Lee, G. W. M., Chen, K. J., & Yang, S. H. 2016. Control of bioaerosols in indoor environment by filter coated with nanosilicate platelet supported silver nanohybrid (AgNPs/NSP). *Aerosol and Air Quality Research*, 16(9), 2198-2207.
- Cheng, Y., Jiang, H., Zhang, X., Cui, J., Song, C., & Li, X. 2017. Effects of coal rank on physicochemical properties of coal and on methane adsorption. *International Journal of Coal Science & Technology*, 4(2), 129-146.
- Choi, D. Y., Heo, K. J., Kang, J., An, E. J., Jung, S. H., Lee, B. U. Lee, H.M., & Jung, J. H. 2018. Washable antimicrobial polyester/aluminum air filter with a high capture efficiency and low pressure drop. *Journal of hazardous materials*, 351, 29-37.
- Choi, J., Yang, B. J., Bae, G. N., & Jung, J. H. 2015. Herbal extract incorporated nanofiber fabricated by an electrospinning technique and its application to antimicrobial air filtration. *ACS applied materials & interfaces*, 7(45), 25313-25320.
- Chua, M. H., Cheng, W., Goh, S. S., Kong, J., Li, B., Lim, J. Y.C, Mao, L., Wang, S., Xue, K., Yang, Le., Ye, E., Zhang, K., Cheong, W.C.D., Tan, B.H., Li, Z., Tan, B.H. & Loh, X.J. 2020. Face masks in the new COVID-19 normal: Materials, testing, and perspectives. *Research*, 2020(7286735), 1-40.

- Danish, M., & Ahmad, T. 2018. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 1-21.
- Daud, Z., Ahmad, B., Awang, H., Abubakar, M. H., Nasir, N., & Tajarudin, H. A. 2018. Ammoniacal Nitrogen Removal Using flamboyant pods (*Delonix Regia*) Adsorbent for Natural Rubber Wastewater Treatment. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(9)184–189.
- Davies, A., Thompson, K. A., Giri, K., Kafatos, G., Walker, J., & Bennett, A. 2013. Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? *Disaster medicine and public health preparedness*, 7(4), 413-418.
- Dbouk, T., & Drikakis, D. 2020. On coughing and airborne droplet transmission to humans. *Physics of Fluids*, 32(5), 053310.
- Eikenberry, S. E., Mancuso, M., Iboi, E., Phan, T., Eikenberry, K., Kuang, Y., Kostelich, E., & Gumel, A. B. 2020. To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infectious Disease Modelling*, 5, 293-308.
- El Gamal, M., Mousa, H. A., El-Naas, M. H., Zacharia, R., & Judd, S. 2018. Bio-regeneration of activated carbon: A comprehensive review. *Separation and Purification Technology*, 197, 345-359.
- Feng, S., Li, D., Low, Z. X., Liu, Z., Zhong, Z., Hu, Y., Wang, Y., & Xing, W. 2017. ALD-seeded hydrothermally-grown Ag/ZnO nanorod PTFE membrane as efficient indoor air filter. *Journal of Membrane Science*, 531, 86-93.
- Gheraout, D., & Elboughdiri, N. 2020. Disinfecting Water: Plasma Discharge for Removing Coronaviruses. *Open Access Library Journal*, 7(4), 1-29.

- González-García, P. 2018. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1393-1414.
- Guillossou, R., Le Roux, J., Mailler, R., Vulliet, E., Morlay, C., Nauleau, F., Gasperi, J., & Rocher, V. 2019. Organic micropollutants in a large wastewater treatment plant: What are the benefits of an advanced treatment by activated carbon adsorption in comparison to conventional treatment? *Chemosphere*, 218, 1050-1060.
- Guo, Y., & Du, E. 2012. The effects of thermal regeneration conditions and inorganic compounds on the characteristics of activated carbon used in power plant. *Energy Procedia*, 17, 444-449.
- Hossain, M. A., Shams, S., Amin, M., Reza, M. S., & Chowdhury, T. U. 2019. Perception and barriers to implementation of intensive and extensive green roofs in Dhaka, Bangladesh. *Buildings*, 9(4), 79.
- Hwang, G. B., Heo, K. J., Yun, J. H., Lee, J. E., Lee, H. J., Nho, C.W., Bae, G., Jung J.H. 2015. Antimicrobial air filters using natural *Euscaphis japonica* nanoparticles. *PloS one*, 10(5), e0126481.
- Ibrahim, I. M., Abdelmalek, D. H., Elshahat, M. E., & Elfiky, A. A. 2020. COVID-19 spike-host cell receptor GRP78 binding site prediction. *Journal of Infection*. 80, 554-562.
- Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B., & Manatunge, J. 2020. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. *Environmental Research*, 188, 109819.
- Ko, T. L., Phyo, S. W., & Ni, K. T. 2018. Effectiveness of prepared corn husk activated carbon on the abatement of sodium chloride content in fish sauce. *Univers. J. Agric. Res*, 6, 91-97.

- Komaladewi, A. A. I. A. S., Khoiruddin, K., Subagia, I. D. G. A., Astuti, D. I., & Wenten, I. G. 2019, October. Antimicrobial hollow fiber polypropylene/ZnO membrane for effective air filtration. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 622, No. 1, p. 012005). IOP Publishing. 622 012005.
- Komaladewi, A. A. I. A. S., Khoiruddin, K., Surata, I. W., Subagia, I. D. G. A., & Wenten, I. G. 2018. Recent advances in antimicrobial air filter. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 67, p. 03016). EDP Sciences.
- Konda, A., Prakash, A., Moss, G. A., Schmoldt, M., Grant, G. D., & Guha, S. 2020. Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS nano*, 14(5), 6339-6347.
- Kramer, A., & Assadian, O. 2014. Survival of microorganisms on inanimate surfaces. In *Use of Biocidal Surfaces for Reduction of Healthcare Acquired Infections*. 7-26. Springer, Cham.
- Kutter, J. S., Spronken, M. I., Fraaij, P. L., Fouchier, R. A., & Herfst, S. 2018. Transmission routes of respiratory viruses among humans. *Current opinion in virology*, 28, 142-151.
- Lelieveld, J., Helleis, F., Borrmann, S., Cheng, Y., Drewnick, F., Haug, G., Klimach, T., Sciare, J., Su, H., & Pöschl, U. 2020. Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8114.
- Leung, C. C., Lam, T. H., & Cheng, K. K. 2020. Mass masking in the COVID-19 epidemic: people need guidance. *Lancet*, 395(10228), 945.
- Leung, N. H., Chu, D. K. W, Shiu, E. Y.C, Chan, K. C., McDevitt, J. J., Hau, B. J.P, Yen, H., Li, Y., Ip, D.K.M., Peiris, J.S.M., Seto, W., Leung, G.M., Milton, D.K., & Cowling, B.J. 2020. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nature medicine*, 26(5), 676-680.

- Li, D., Zhou, J., Wang, Y., Tian, Y., Wei, L., Zhang, Z., Qiao, Y., & Li, J. 2019. Effects of activation temperature on densities and volumetric CO<sub>2</sub> adsorption performance of alkali-activated carbons. *Fuel*, 238, 232-239.
- Liu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Wu, H., Guo, Z., Wuc, H., Guoa, Z., Chenga, C., & Zhang, C. 2015. Effect on physical and chemical characteristics of activated carbon on adsorption of trimethoprim: mechanisms study. *RSC advances*, 5(104), 85187-85195.
- Long, Y., Hu, T., Liu, L., Chen, R., Guo, Q., Yang, L., Cheng, Y., Huang J. & Du, L. 2020. Effectiveness of N95 respirators versus surgical masks against influenza: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence-Based Medicine*, 13(2), 93-101.
- Lorenc-Grabowska, E., Diez, M. A., & Gryglewicz, G. 2016. Influence of pore size distribution on the adsorption of phenol on PET-based activated carbons. *Journal of colloid and interface science*, 469, 205-212.
- Matsushita, T., Suzuki, H., Shirasaki, N., Matsui, Y., & Ohno, K. 2013. Adsorptive virus removal with super-powdered activated carbon. *Separation and Purification Technology*, 107, 79-84.
- Mowbray, N. G., Ansell, J., Horwood, J., Cornish, J., Rizkallah, P., Parker, A., Wall, P., Spinelli, A. & Torkington, J. 2020. Safe management of surgical smoke in the age of COVID-19. *The British Journal of Surgery*. 1-8.
- Mueller, A. V., Eden, M. J., Oakes, J. M., Bellini, C., & Fernandez, L. A. 2020. Quantitative method for comparative assessment of particle removal efficiency of fabric masks as alternatives to standard surgical masks for ppe. *Matter*, 3(3), 950-962.
- Mumu, S. K., & Hossain, M. M. 2018. Antimicrobial activity of tea tree oil against pathogenic bacteria and comparison of its effectiveness

with eucalyptus oil, lemongrass oil and conventional antibiotics. *American Journal of Microbiological Research*, 6(3), 73-78.

- Neupane, B. B., Mainali, S., Sharma, A., & Giri, B. 2019. Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. *PeerJ*, 7, e7142.
- Ng, C. A., Bashir, M. J., & Ng, S. L. 2018. Development of hybrid polymeric polyethersulfone (PES) membrane incorporated with powdered activated carbon (PAC) for palm oil mill effluent (POME) treatment. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(2), 137-141.
- Offeddu, V., Yung, C. F., Low, M. S. F., & Tam, C. C. 2017. Effectiveness of masks and respirators against respiratory infections in healthcare workers: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Infectious Diseases*, 65(11), 1934-1942.
- Pathak, P. D., & Mandavgane, S. A. 2015. Preparation and characterization of raw and carbon from banana peel by microwave activation: application in citric acid adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4), 2435-2447.
- Patil, K., Jeong, S., Lim, H., Byun, H. S., & Han, S. 2019. Removal of volatile organic compounds from air using activated carbon impregnated cellulose acetate electrospun mats. *Environmental Engineering Research*, 24(4), 600-607.
- Pham, T. D., Vu, T. N., Nguyen, H. L., Le, P. H. P., & Hoang, T. S. 2020. Adsorptive removal of antibiotic ciprofloxacin from aqueous solution using protein-modified nanosilica. *Polymers*, 12(1), 57.
- Radenahmad, N., Azad, A. T., Saghir, M., Taweekun, J., Bakar, M. S. A., Reza, M. S., & Azad, A. K. 2020. A review on biomass derived syngas for SOFC based combined heat and power application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109560.
- Radonovich, L. J., Simberkoff, M. S., Bessesen, M. T., Brown, A. C., Cummings, D. A., Gaydos, C. A., Los, J.G., Krosche, A.E. Gibert,

- C.L., Gorse, G.J.; Nyquist, A., Reich, N.G., Rodriguez-Barradas, M.C., Price, C.S. Perl, T.M. 2019. N95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. *Jama*, 322(9), 824-833.
- Rengga, W. D. P., Chafidz, A., Sudibandriyo, M., Nasikin, M., & Abasaeed, A. E. 2017. Silver nano-particles deposited on bamboo-based activated carbon for removal of formaldehyde. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(2), 1657-1665.
- Reza, M. S., Ahmed, A., Caesarendra, W., Abu Bakar, M. S., Shams, S., Saidur, R., Aslfattahi, N & Azad, A. K. 2019. Acacia holosericea: an invasive species for bio-char, bio-oil, and biogas production. *Bioengineering*, 6(2), 33.
- Reza, M.S., Yun, C.S., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M.S.A., Saidur, R., Taweekun, J., & Azad, A.K., 2020. Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gas purification, a review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27(1), 208–238.
- Rosli, M. A., Daud, Z., Awang, H., Zainorabidin, A., & Halim, A. A. 2017. The Effectiveness of Peat-AC Composite Adsorbent in Removing SS, Colour and Fe from Landfill Leachate. *International Journal of Integrated Engineering*, 9(3).
- Sarbu, L. G., Bahrin, L. G., Babii, C., Stefan, M., & Birsa, M. L. 2019. Synthetic flavonoids with antimicrobial activity: a review. *Journal of applied microbiology*, 127(5), 1282-1290.
- Sharifuddin, S. A. B., Ismail, S. B., Abdullah, I., Mohamad, I., & Mohammed, J. S. 2019. Antibacterial evaluation of activated carbon cloth with Ag<sup>+</sup> impregnated with ZnO nanoparticles. *Research Journal of Textile and Apparel*. nd conventional antibiotics. *American Journal of Microbiological Research*, 6(3), 73-78.

- Sim, K. M., Kim, K. H., Hwang, G. B., Seo, S., Bae, G. N., & Jung, J. H. 2014. Development and evaluation of antimicrobial activated carbon fiber filters using *Sophora flavescens* nanoparticles. *Science of the total environment*, 493, 291-297.
- Sorrels, J. L., Baynham, A., Randall, D. D., & Schaffner, K. S. 2018. Carbon Adsorbers.
- Stadnytskyi, V., Bax, C. E., Bax, A., & Anfinrud, P. 2020. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), 11875-11877.
- Suhartati, R., Apriyani, F., Virgianti, D. P., & Fathurohman, M. 2019, July. Antimicrobial Activity Test of Mangosteen Leaves Ethanol Extract (*Garcinia mangostana* Linn) Against *Pseudomonas aeruginosa* Bacteria. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1179, No. 1, p. 012167). IOP Publishing.
- Swennen, G. R., Pottel, L., & Haers, P. E. 2020. Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*.49, 673-677.
- Tamayo, L., Azócar, M., Kogan, M., Riveros, A., & Páez, M. 2016. Copper-polymer nanocomposites: An excellent and cost-effective biocide for use on antibacterial surfaces. *Materials Science and Engineering: C*, 69, 1391-1409.
- Temdrara, L., Addoun, A., & Khelifi, A. 2015. Development of olivestones-activated carbons by physical, chemical and physicochemical methods for phenol removal: a comparative study. *Desalination and Water Treatment*, 53(2), 452-461.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. 2015. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area



and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9-10), 1051-1069.

Ullah, S., Ullah, A., Lee, J., Jeong, Y., Hashmi, M., Zhu, C., Joo, K.I., Cha, H.J & Kim, I. S. 2020. Reusability comparison of melt-blown vs nanofiber face mask filters for use in the coronavirus pandemic. *ACS Applied Nano Materials*, 3(7), 7231-7241.

Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., & Lloyd-Smith, J. O. 2020. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564-1567.

Wang, Z., Pan, Z., Wang, J., & Zhao, R. 2016. A novel hierarchical structured poly (lactic acid)/titania fibrous membrane with excellent antibacterial activity and air filtration performance. *Journal of Nanomaterials*, 2016. 6272983, 1-17.

Woo, C. G., Kim, H. J., Kim, Y. J., & Han, B. 2017. Enhanced antimicrobial activity on non-conducting and conducting air filters by using air ions and grapefruit seed extract. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(7), 1917-1924.

Yi, Y., Lagniton, P. N., Ye, S., Li, E., & Xu, R. H. 2020. COVID-19: what has been learned and to be learned about the novel coronavirus disease. *International journal of biological sciences*, 16(10), 1753.

Zhao, Y., Low, Z. X., Feng, S., Zhong, Z., Wang, Y., & Yao, Z. 2017. Multifunctional hybrid porous filters with hierarchical structures for simultaneous removal of indoor VOCs, dusts and microorganisms. *Nanoscale*, 9(17), 5433-5444.

Zhi, M., Yang, F., Meng, F., Li, M., Manivannan, A., & Wu, N. 2014. Effects of pore structure on performance of an activated-carbon supercapacitor electrode recycled from scrap waste tires. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2(7), 1592-1598.

Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G.F., & Tan, W. 2020. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*. 382(8),727-733.

# GLOSARIUM

## A

**Alfa pinena.** Senyawa organik dari golongan senyawa terpen dan termasuk ke dalam senyawa alkena yang mengandung cincin reaktif karena adanya ikatan rangkap dan dapat ditentukan pada berbagai minyak pohon jenis konifer terutama pinus.

**Alumina.** Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia  $Al_2O_3$ . Nama mineralnya adalah alumina, dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina.

**Antikanker.** Zat yang dapat mengganggu pertumbuhan atau bahkan mematikan sel kanker dengan cara mengganggu metabolisme sel yang merugikan.

**Antimikroba.** Zat yang dapat mengganggu pertumbuhan atau bahkan mematikan mikroba/bakteri dengan cara mengganggu metabolisme mikrob yang merugikan. Mikroorganisme dapat menyebabkan bahaya karena kemampuan menginfeksi dan menimbulkan penyakit serta merusak bahan pangan.

**Antioksidan.** Molekul/senyawa yang mampu memperlambat atau mencegah proses oksidasi.

**Antosianidin.** Flavonoid yang larut dalam air, tidak teroksidasi, tidak jenuh, terutama ditemukan sebagai pigmen tanaman yang bergantung pada pH.

**Apoptosis.** Mekanisme kematian sel terprogram yang terjadi pada organisme multisel.

**Atom ekonomi.** Sebuah konsep untuk mengevaluasi efisiensi transformasi kimia yaitu merupakan rasio dari total massa atom dalam produk yang diinginkan dengan massa total atom pada reaktan.