



**MODJA AIR GUARD: MODIFIKASI FILTER UDARA SEBAGAI UPAYA
MENGATASI PENCEMARAN UDARA**

**Ade Rahman Wijaya, Azzahra Midiananda Atthahira
Lina Wahyuni, S.Pd , Awaludin, S.Pd, M.S.I**

MAN 2 Kota Jambi

Jln. Aditya Warman, Kelurahan Thehokk, Kecamatan Jambi Selatan, Kota Jambi

Email Peneliti 1 atau Guru Pembimbing:

linawahyuni9@gmail.com

Abstrak - Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pembuatan modja *air guard* dan mengetahui hasil pengujian modja terhadap CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, HCHO dan TVOC. Modja *air guard* merupakan filter udara yang terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 4 mm. Modja *air guard* dibuat kedap udara yang berbentuk balok yang terdiri dari *inhaust fan*, dua filter, dua *air quality detector*, dan vakum. Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Research and Development* dengan tahapan ADDIE. Modja *air guard* dilakukan pengujian pada udara kotor dan udara bersih dengan berbagai filter, yakni kain *polyester non woven*, daun mahkota nanas, daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh, serta filter dari daun mahkota nanas yang dicampur dengan maserasi daun belimbing wuluh. Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan filter yang terbuat dari daun mahkota nanas yang dicampur daun belimbing wuluh yang paling efektif. Terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni PM₁₀ terjadi penurunan dari 349 µg/m³ menjadi 120 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM_{2,5} terjadi penurunan pada menit ke 60 dari 266 µg/m³ menjadi 98 µg/m³. Begitu pula pada parameter HCHO, yakni dari 0,009 mg/m³ menjadi 0,008 mg/m³ dan TVOC dari 0,019 mg/m³ menjadi 0,013 mg/m³. Berdasarkan hasil validasi ahli media, modja *air guard* mendapatkan nilai sangat baik dan layak digunakan.

Kata kunci: pencemaran udara, daun mahkota nanas, daun belimbing wuluh

A. Pendahuluan

Pencemaran udara merupakan masuknya zat lain ke udara yang disebabkan kegiatan manusia, sehingga melewati baku mutunya (Abidin dkk, 2019). Berdasarkan data AQLI terjadi peningkatan pencemaran udara di Indonesia sebesar 171% selama dua dekade. 80% populasi di Indonesia terpapar pencemaran udara tahunan yang melebihi pedoman WHO. Indonesia menjadi negara tertinggi kelima di dunia yang kehilangan tahunan harapan hidup akibat pencemaran udara (Greenstone dan Fan, 2019).

Berkurangnya harapan hidup setiap wilayah di Indonesia berbeda. Di Jakarta, rata-rata harapan hidup penduduknya dipangkas 2,3 tahun, sementara di pulau Sumatera dan

Kalimantan berkurang 4 tahun (Greenstone dan Fan, 2019). Gambar 1 menyajikan peta Indonesia dengan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).



Gambar 1. Peta ISPU di Indonesia

Pencemaran udara berasal dari 3 sumber. Sumber pertama adalah perkotaan dan industri, sumber tersebut berasal dari kemajuan teknologi, sehingga banyak pabrik yang didirikan. Sumber yang kedua pertanian berasal dari penggunaan pestisida untuk menyuburkan tanaman. Sumber ketiga bersifat alami yang berasal dari alam, yakni abu gunung berapi, gas vulkanik, dan bau yang disebabkan pembusukan sampah organik (Abidin dan Hasibuan, 2019). Menurut Darmawan (2021) terjadinya pencemaran udara 70% diakibatkan oleh asap kendaraan.

Pencemaran udara berdampak negatif pada kesehatan makhluk hidup, merusak ekosistem, dan dapat mengakibatkan hujan asam. Pada aspek kesehatan, pencemaran udara mengakibatkan penyakit infeksi saluran pernapasan, jantung, paru-paru, bahkan bisa mengakibatkan kanker (Abidin dkk, 2019). Pencemaran udara menjadi penyebab kematian kelima tertinggi di Indonesia setelah hipertensi, gula darah, merokok, dan obesitas (Syahputri dkk, 2023). Korban dari pencemaran udara di Indonesia mencapai 60.000 setiap tahunnya (Adrian, 2021). Pada tumbuhan pencemaran udara mengakibatkan daun berlubang dan layu. Hewan yang memakan tumbuhan tersebut bisa menjadi sakit (Chandra, 2007).

Menurut penelitian Rumampuk dkk (2021), sampai saat ini pencemaran udara masih menjadi masalah yang belum terselesaikan. Apabila permasalahan pencemaran udara terus terjadi, maka dalam jangka panjang akan mengakibatkan buruknya kualitas kesehatan publik, kualitas hidup, dan menjadi beban ekonomi kesehatan negara. Oleh karenanya diperlukan solusi untuk mengatasi pencemaran udara. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan membuat alat filter udara. Filter udara merupakan

sebuah alat yang dapat digunakan untuk menyaring kotoran udara yang masuk (Nursalim dkk, 2022). Filter udara yang dibuat dapat memanfaatkan limbah dari tumbuhan, yakni mahkota nanas dan daun belimbing wuluh.

Nanas merupakan tanaman yang banyak dibudidayakan, baik di pulau Jawa maupun di Sumatera. Indonesia sebagai negara penghasil nanas terbesar kelima di dunia (UNCTAD, 2016). Di Provinsi Jambi sendiri terdapat sentra produksi nanas terbesar di Jambi yang terletak di desa tangkit baru. Daerah tersebut dijuluki desa emas sejuta nanas yang 500-1000 buahnya dimanfaatkan untuk berbagai macam olahan industri oleh UMKM, dan sisa limbahnya dibuang menjadi sampah lingkungan (Aini dkk, 2022).



Gambar 2. Limbah Daun Mahkota Nanas

Bagian dari nanas yang belum dimaksimalkan pemanfaatannya ialah daun mahkota nanas. Daun mahkota nanas mengandung 12,2% lignin, 51,4% selulosa, dan 13,4% hemiselulosa pada daun mahkota nanas (Faria dkk, 2020). Menurut Wulandari dkk (2018), selulosa sebagai serat alami dapat dikembangkan sebagai adsorben. Adsorben secara umum dapat berfungsi sebagai pengikat zat, termasuk padatan. Adsorben dapat mengikat kadar CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, HCHO dan TVOC yang merupakan komponen dalam pencemaran udara.

Selain kadar polutan di atas, kandungan logam berat seperti timbal (Pb) pada udara juga memerlukan perhatian lebih. Menurut Bela dan erlani (2020), kendaraan bermotor menghasilkan timbal, yaitu partikel bersifat toksik yang dapat mencemari udara, air, dan debu. Timbal termasuk logam berat yang sangat berbahaya karena sifatnya karsinogenik (Brass, 1981). Timbal adalah penyebab terbentuknya radikal bebas (Anggoro dan Marianti 2021). Salah satu tumbuhan yang bisa mengurangi timbal pada pencemaran udara ialah belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*). Belimbing wuluh merupakan tumbuhan asli Maluku dan dapat ditemukan diberbagai daerah di Indonesia. Daun belimbing wuluh banyak mengandung tanin. Tanin dapat membentuk senyawa kompleks dengan timbal. Menurut

Santawarti dkk (2016), timbal dengan senyawa kompleks lebih aman untuk lingkungan. Selain itu, daun belimbing wuluh memiliki kandungan antioksidan yang dapat menangkal radikal bebas (Yuliana dkk, 2023).

Penelitian yang membahas mengenai pemanfaatan daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh untuk filter udara belum banyak dilakukan. Terutama pemanfaatan daun mahkota nanas sebagai filter udara belum ada dilakukan. Saat ini, peneliti hanya menemukan pemanfaatan daun mahkota nanas sebagai filter air. Sementara penelitian mengenai pemanfaatan daun belimbing wuluh sebagai filter udara sudah ada dilakukan, namun baru studi literatur saja.

Pada penelitian ini peneliti membuat alat filter udara yang peneliti beri nama *Modja Air Guard*. *MODJA air guard* berbentuk balok yang terbuat dari akrilik dan kedap udara. Pada *modja air guard* terdapat *inhaust fan*, dua filter, dua *air quality detector*, dan vakum. Terdapat beberapa filter yang digunakan, yakni filter mahkota nanas, filter mahkota nanas dan maserasi daun belimbing wuluh, filter mahkota nanas dan daun belimbing wuluh, serta kain *polyester non woven* sebagai perbandingan. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ibrahim dkk (2016), kain *polyester non woven* memiliki efektivitas hampir 93% dalam menurunkan debu dan polutan.

Peneliti termotivasi melakukan penelitian ini dikarenakan daun mahkota nanas tidak maksimal pemanfaatannya. Bahkan daun mahkota nanas menjadi limbah yang selanjutnya dibuang. Padahal, daun mahkota nanas memiliki kandungan yang dapat mengatasi pencemaran udara. Terlebih lagi beberapa tahun terakhir pencemaran udara di Provinsi Jambi dan di beberapa daerah lainnya di Kalimantan dan Sumatera sering terjadi akibat kebakaran hutan. Ditambah lagi dengan pencemaran udara yang berasal dari asap kendaraan dan industri. Selain itu berdasarkan studi literatur, daun belimbing wuluh banyak mengandung tanin yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan timbal. Oleh karenanya, peneliti ingin membuktikan studi literatur tersebut.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui cara pembuatan *modja air guard* dan mengetahui hasil pengujian *modja* terhadap CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, HCHO dan TVOC. Adapun manfaat penelitian ini secara teoritis ialah memberikan informasi mengenai pemanfaatan daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh untuk mengatasi pencemaran udara di Indonesia. Secara sistematis, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan inovasi baru bagi pembaca dalam mengatasi pencemaran udara di Indonesia.

Peneliti berharap hasil penelitian ini dapat memberikan informasi kepada pembaca mengenai pemanfaatan daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh sebagai filter udara. Selain itu, peneliti juga berharap MODJA *air guard* kedepannya dapat dievaluasi dan dikembangkan, sehingga dapat mengatasi pencemaran udara di Indonesia.

B. Kajian Teori dan Tinjauan Pustaka

1. Kajian Teori

a. Pencemaran udara

Pencemaran udara berdampak negatif bagi kesehatan, seperti gangguan pernafasan, penyakit kardiovaskular, gangguan perkembangan janin, dan penurunan fungsi paru-paru (Aryanta 2023). Pencemaran udara diakibatkan oleh gas sisa pembakaran bahan bakar, seperti CO, NO_x, SO_x, dan CO₂. Selain itu, kualitas udara juga dipengaruhi oleh konsentrasi partikulat (PM_{2,5}, PM₁₀), HCHO dan TVOC (Setiati dkk, 2022).

b. Kain Polyester Non Woven

Kain *polyester non woven* merupakan kain yang dihasilkan tanpa proses penenunan. Ketebalan kain yang digunakan sebagai filter mempengaruhi hasil filtrasi (Kolte dan Shivankar, 2015). Semakin tebal kain maka semakin tinggi persentase penurunan kadar debu (Ramdhan dkk, 2023).

c. Bioadsorben Limbah Mahkota Nanas

Bioadsorben adalah adsorben yang berbahan baku alami dan mampu menjadi komponen penting pada filtrasi udara. Bioadsorben dapat memfilter udara karena kekuatannya dalam mengikat senyawa kimia tertentu. Kemampuan adsorben untuk mengikat senyawa tersebut ialah dengan proses adsorpsi (Cahyani dkk, 2024). Adsorpsi adalah proses dari adsorben yang menyerap molekul atau ion pada permukaannya (Wijayanti dkk, 2019).

Menurut Ifa dkk (2020), bioadsorben dapat dibuat dengan kandungan dasar yang memiliki struktur berpori. Selulosa adalah salah satu kandungan yang dapat menyokong struktur pori. Selulosa adalah komponen utama dari lignoselulosa (Ningsih dkk, 2023). Menurut Nufus dkk (2017), mahkota nanas adalah limbah biomassa berlignoselulosa yang jarang dimanfaatkan. Hal ini sejalan dengan penelitian Amri dkk (2017), bahwasannya limbah organik berlignoselulosa dapat dijadikan adsorben. Berdasarkan hal tersebut, peneliti menggunakan daun mahkota nanas untuk dijadikan adsorben filtrasi udara.

d. Daun belimbing wuluh

Belimbing wuluh sering kita jumpai di pemukiman warga. Menurut penelitian Hasim dkk (2019), salah satu tanaman jenis buah yang merupakan obat tradisional adalah belimbing wuluh. Berdasarkan percobaan dengan metode *NaOH test*, terdapat kandungan Flavonoid pada daun belimbing wuluh (Valsan dan Raphael, 2016).

Menurut penelitian Luthfianto dan Marfuah (2022), flavonoid pada daun belimbing wuluh dapat menjadi antioksidan yang mampu mereduksi radikal bebas dan memiliki peranan sebagai anti radikal bebas. Apabila tubuh tidak terlindungi dari radikal bebas, maka tubuh akan terserang penyakit kronis seperti kanker, serangan jantung, katarak, serta menurunnya fungsi ginjal (Fakriah dkk, 2019). Hal ini dikarenakan antioksidan pada kandungan flavonoid mampu mengurangi stress oksidatif dari paparan radikal bebas (Mahdalena dkk, 2020). Stress oksidatif adalah penyebab rusaknya sel, jaringan, dan organ yang menyebabkan timbulnya penyakit kronis.

Terdapat beberapa gas yang dapat memicu timbulnya radikal bebas. Gas tersebut diantaranya SO₂ dan NO₂. Gas SO₂ dan NO₂ merupakan polutan ambien yang sangat mempengaruhi kualitas air hujan (hujan asam) dan kualitas udara (Susanto dan Prayudi, 2000). Menurut hidajat dkk (2023), SO₂ mampu menghasilkan radikal bebas, serta NO₂ dapat meningkatkan stress oksidatif dan memicu iritasi.

2. Tinjauan Pustaka

Berikut beberapa hasil penelitian terdahulu mengenai filter udara.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Nama peneliti	Lokasi Penelitian	Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Subjek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Leni Devera Asrar, Cahyono Kurniawan Hidayat, dan Farin Prasetya	Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta	2023	Rancang Bangun Sistem Kontrol Automasi dan Monitoring Pembersih Udara Dengan Menggunakan Filter Limbah Cangkang Telur dan Serat Batang Kelapa Berbasis <i>Internet of Things (IOT)</i>	Udara kotor berupa asap	Analisis kebutuhan sistem, desain sistem, dan prinsip operasi sistem, serta implementasi data.	Filter bekerja dengan baik dalam melakukan penyaringan terhadap udara kotor.

Ana Maria Todea, Frank Schmidt, Tobias Schuldt, Christof Asbach	Jerman	2020	<i>Development of a Method to Determine the Fractional Deposition Efficiency of FullScale HVAC and HEPA Filter Cassettes for Nanoparticles ≥ 3.5 nm</i>	Filter HVAC dan HEPA	Quasi Eksperimental	Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan menguji metode baru untuk mengukur efisiensi deposisi fraksional nanopartikel pada filter HVAC dan HEPA skala penuh, yang dapat memberikan wawasan berharga untuk mengevaluasi kinerja dan memastikan filtrasi udara yang efektif.
Craig Martin	Stn Terminal Vancouver	2023	<i>HEPA Filters and Nanomaterials</i>	Data pembuktian bahwa filter HEPA dapat menggantikan filter ULPA untuk menyaring bahan nano secara efektif	<i>Systematic literature review</i>	Tinjauan sistematis ini menemukan beberapa bukti tentang kemanjuran / efektivitas filter HEPA untuk menghilangkan bahan nano. Meskipun ada bukti bahwa filter ULPA memberikan efisiensi yang lebih baik,

C. Metode Penelitian

Metode pada penelitian ini adalah *Research and Development (R&D)*. Pada penelitian ini, peneliti menciptakan alat filtrasi udara. Alat ini bekerja dengan mekanisme penarikan udara di sekitar alat untuk disaring menggunakan 2 filter alami. Oleh karena itu, alat ini mampu menyaring partikulat dari udara sekitar alat yang tercemar. Alat ini dilengkapi oleh *air quality detector* yang mampu mendeteksi partikulat saat udara awal memasuki alat dan 2 filter udara pada dua bilik yang terpisah untuk mengetahui perbedaan kualitas udara

sebelum dan setelah melewati filter. Alat ini memiliki konsep kerja seperti AC (*Air conditioner*). Namun alat ini tidak dapat menghasilkan udara yang dingin. Udara yang berada di sekitar alat akan masuk dan didorong oleh *inhaust* yang berada pada komponen awal. Selanjutnya, udara yang telah masuk kedalam alat akan ditarik oleh *vacuum* dan dikeluarkan.

Untuk menciptakan sebuah alat dengan hasil yang lebih efektif, penelitian ini menggunakan metode ADDIE yang terdiri dari *Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*. Berdasarkan hal tersebut, peneliti menganggap tahap langkah-langkah penelitian dapat dijelaskan lebih kompleks. Selain daripada itu, hasil dari penelitian dianggap lebih teruji. Hal ini dikarenakan, terdapat uji coba yang dilakukan oleh peneliti untuk mendapatkan data. Data yang telah diperoleh akan diperkuat lagi dengan validasi para ahli. Berikut tahapan ADDIE pada penelitian ini:

1. Analysis

Pada tahap ini, peneliti menganalisis permasalahan yang ada dengan memanfaatkan *search engine* untuk memperoleh informasi yang diperlukan. Lebih lanjut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Tahap analisis

Aspek yang dianalisis	Sumber
Jenis tumbuhan berlignoselulosa	Jurnal Terdahulu
Bagian tumbuhan yang mampu menyaring partikulat	Jurnal Terdahulu
Kinerja alat dalam menarik udara	Jurnal Terdahulu dan artikel
Kelemahan Penelitian Terdahulu	Jurnal Terdahulu

2. Design

Design diawali dengan proses ilustrasi. Penelitian terdahulu dapat menjadi pedoman untuk pembuatan ilustrasi awal. Filter dari bahan alami merupakan ilustrasi awal yang didapatkan dari penelitian terdahulu. Terdapat beberapa langkah untuk mencapai tujuan dari ilustrasi tersebut, yaitu:

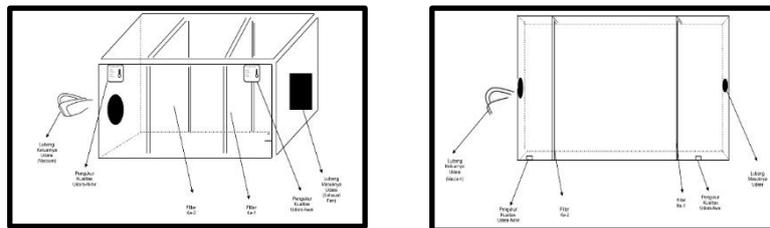
a. Memilih bahan untuk komponen filter

Selain dari masalah pencemaran udara, peneliti menemukan pula masalah mengenai suatu bagian dari tumbuhan yang dijadikan limbah dalam industri perdagangan. Bagian tersebut ialah mahkota nanas. Peneliti melakukan *study literature* mengenai kandungan dari daun mahkota nanas dan pemanfaatannya untuk sumber masalah, yaitu pencemaran udara. Dalam proses *study literature*, peneliti

menemukan bahan lain yang mampu menetralsisir kandungan timbal pada pencemaran udara. Bahan tersebut ialah daun belimbing wuluh yang gampang ditemukan pada lingkungan sekitar.

b. Membuat desain MODJA Airguard

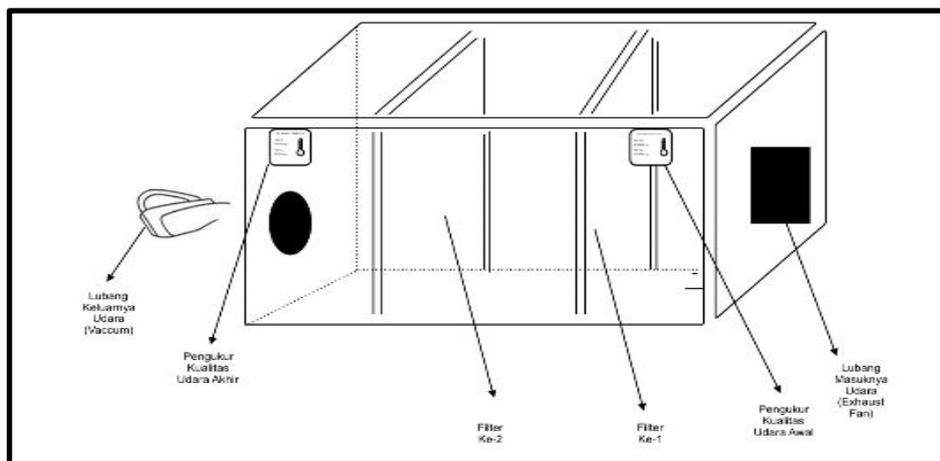
Peneliti menganggap bahan tersebut dapat bekerja lebih efisien apabila berada pada suatu alat. Hal ini disebabkan, sebuah alat dapat terisi oleh komponen filtrasi tersebut dan melakukan kinerja untuk mengatasi pencemaran udara secara praktis. Dilihat dari masalah utama, diperlukan alat yang dapat menarik udara tercemar untuk melewati filter alami. Peneliti membuat ilustrasi alat berbentuk kotak dengan mesin yang mampu menarik suatu objek. Peneliti memanfaatkan mesin yang terdapat pada vacuum cleaner yang telah terbukti mampu menarik suatu objek. Berikut adalah visualisasi dari ilustrasi yang peneliti miliki.



Gambar 2. Tampak depan dan atas visualisasi MODJA Airguard

c. Mempelajari rangkaian dan sistem kerja alat

Untuk menghasilkan alat yang berfungsi secara sistematis, peneliti perlu mempelajari rangkaian alat yang tepat. Selain itu, peneliti juga perlu mengetahui sistem kerja setiap bagian dari alat yang telah dirangkai. Sistem kerja pada tiap bagian alat tersebut dapat kita ketahui berdasarkan gambar di bawah ini.



Gambar 3. tampak depan dan nama bagian komponen MODJA Air guard

Berikut adalah tabel sistem kerja komponen MODJA *Air guard*:

Tabel 3. fungsi komponen

No	Nama komponen	Fungsi
1	<i>Inhaust fan</i>	Untuk mendorong udara berpartikulat yang telah masuk ke dalam alat menuju 2 filter.
2	<i>Air quality detector</i> awal	Untuk mengetahui partikulat awal yang terkandung pada udara di dalam alat.
3	Filter ke 1	Sebagai saringan partikulat alami yang pertama.
4	Filter ke 2	Sebagai saringan partikulat alami yang terakhir.
5	<i>Air quality detector</i> akhir	Untuk mengetahui partikulat terakhir yang telah melalui 2 filter alami
6	<i>Vacuum</i>	Untuk menarik udara agar dapat melewati filter alami dan mengeluarkannya dengan mesin

d. Membuat daftar alat dan bahan

Untuk memastikan komponen penelitian sudah sesuai dengan study literature dan desain rangkaian alat, peneliti melakukan pendataan dengan membuat daftar alat dan bahan. Adapun alat dan bahan yang digunakan ialah timbangan digital, wadah, spatula, gunting, blender, loyang, *baking paper*, oven listrik, kertas HVS, kabel adaptor, *vacuum*, kotak akrilik, *inhaust fan*, busa spon ati, benang wol, jarum jahit, kain *polyester non woven*, daun belimbing wuluh, daun mahkota nanas, etanol 96%, *aquades*, serta tepung tapioka.

3. Development

Untuk memperoleh filter alami, peneliti melakukan proses pembuatan adsorben pada daun mahkota nanas, adsorben daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh, serta adsorben daun mahkota nanas dan maserasih daun belimbing wuluh. proses maserasi pada daun belimbing wuluh. Sebelum melakukan proses pembuatan filter alami, alat dan bahan akan disiapkan terlebih dahulu. Setelah alat dan bahan pada proses tersebut lengkap, peneliti langsung melakukan proses pembuatan filter alami dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Pembuatan adsorben daun mahkota nanas

Proses pembuatan diawali dengan menggunting kertas HVS menjadi kecil. Kertas HVS dan *aquades* diblender hingga menghasilkan bubur kertas. Selanjutnya, ukur massa daun mahkota nanas hingga mencapai 100 gr menggunakan timbangan digital. Setelah mencapai ukuran yang ditentukan, daun mahkota nanas dicuci menggunakan *aquades* untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Selanjutnya, daun mahkota nanas yang sudah bersih akan dipotong menggunakan gunting hingga menjadi bagian yang kecil. Selanjutnya bagian kecil tersebut diblender dengan *aquades* hingga menjadi bubur. Hasil dari pembuatan bubur kertas dan bubur daun mahkota nanas akan dicampur dengan tepung kanji menggunakan perbandingan 4:2:1. Namun sebelum ditambahkan tepung kanji, bubur dari kertas dan daun mahkota nanas akan dicampur serta disaring kadar airnya. Terakhir masukkan campuran bubur dan tepung yang telah dihomogenkan ke dalam oven selama 60 menit dengan suhu 200°

b. Pembuatan ekstraksi tanin daun belimbing wuluh dengan metode maserasih.

Proses pembuatan diawali dengan mengukur daun belimbing wuluh hingga 100gr menggunakan timbangan digital. Selanjutnya, proses dilanjutkan dengan mencuci daun belimbing wuluh yang telah dipetik hingga bersih. Setelah itu, daun akan dipotong menjadi bagian yang kecil. Daun tersebut akan dimasukkan kedalam maserator yang merupakan toples kedap udara. Lalu, pelarut etanol 95% akan dituangkan pada daun belimbing wuluh yang berada di maserator. Pastikan pelarut mampu merendam daun belimbing wuluh. Berikutnya, maserator akan ditutup dengan rapat dan dibungkus menggunakan plastik hitam serta disimpan didalam ruangan tertutup untuk menghindari paparan matahari. Penyimpanan dilakukan selama 24 jam. Setelah disimpan, larutan hasil maserasih akan disaring untuk memisahkan ampas daun dari larutan ekstrak.

Pembuatan adsorben daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh Pada proses, ini langkah pengerjaan yang dilakukan sama seperti pembuatan adsorben daun mahkota nanas. Namun, ditambahkan bubur daun belimbing wuluh dan dicampurkan dengan bubur daun mahkota nanas. Bubur mahkota nanas, dan bubur belimbing wuluh di campur dengan perbandingan 1:1, lalu setelahnya bubur kertas dan tepung kanji dicampur dengan perbandingan 4:2:1 dari campuran mahkota nanas dan belimbing wuluh hingga homogen.

4. Implementation

Sebelum melakukan tahap *evaluation*, MODJA *airguard* akan dipastikan dapat bekerja secara sistematis terlebih dahulu. MODJA *airguard* akan dioperasikan dengan menguji objek pencemaran udara. Data hasil pengujian pertama MODJA *airguard* didapatkan dari hasil yang muncul pada air quality detector pertama dan kedua. Data tersebut akan diolah untuk mengetahui nilai signifikan partikulat sebelum melalui filter alami dan setelah melalui filter alami. Apabila ditemukan nilai signifikan, maka MODJA *airguard* berfungsi dengan baik. Namun apabila tidak ditemukan nilai signifikan, maka MODJA *airguard* harus diperbaiki kembali hingga mendapat nilai signifikan.

5. Evaluation

Setelah pengujian untuk mendapat perbedaan nilai signifikan berdasarkan data yang diperoleh peneliti, dilakukan kembali uji oleh para ahli yang berperan sebagai validator. Pengujian yang dilakukan validator diperlukan guna mengetahui pemenuhan standar MODJA *airguard* sebagai alat filtrasi udara berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan. Setelahnya data hasil penelitian, peneliti bandingkan dengan Baku Mutu Udara Ambien sesuai Peraturan Pemerintah RI No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

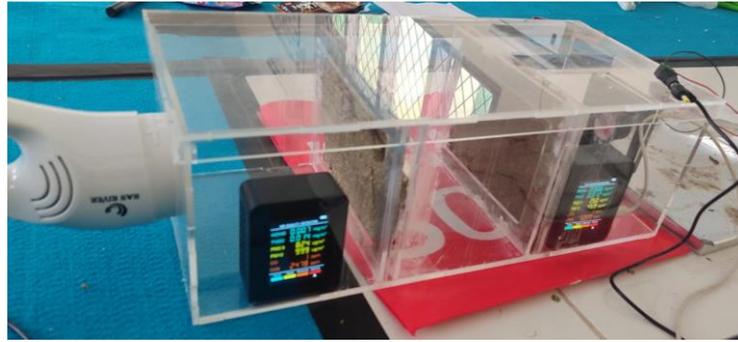
Tabel 4. Baku Mutu Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	150 µg/ m ³	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	1000 µg/ m ³	Aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 µg/ m ³	Aktif kontinu
4.	Oksida fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 µg/ m ³	Aktif kontinu
5.	Hidrkarbon Non Metana (NMHC)	3 jam	160 µg/ m ³	Aktif kontinu
6.	Partikulat debu < 100 µm (TSP)	24 jam	230 µg/ m ³	Aktif kontinu
	Partikulat debu < 10 µm (PM ₁₀)	24 jam	75 µg/ m ³	Aktif kontinu
	Partikulat debu < 10 µm (PM ₁₀)	24 jam	40 µg/ m ³	Aktif kontinu
	Partikulat debu < 2,5 µm (PM _{2,5})	24 jam	55 µg/ m ³	Aktif kontinu
7.	Timbal (Pb)	24 jam	2 µg/ m ³	Aktif kontinu

D. Hasil Dan Pembahasan

1. Hasil Penelitian

Modja *air guard* pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan 4 mm. Modja *air guard* dibuat kedap udara yang berbentuk balok dengan ukuran 45 cm x 14 cm x 16 cm. Modja *air guard* terdiri dari *inhaust fan*, dua filter, dua *air quality detector*, dan vakum. Berikut tampilan Modja *air guard*.



Gambar 5. Tampilan Modja Air Guard

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa filter udara. Pertama peneliti menggunakan kain *polyester non woven* yang sudah diteliti dapat memfilter udara 93%. Selanjutnya, filter yang peneliti gunakan terbuat dari daun mahkota nanas, filter dari daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh, serta filter dari daun mahkota nanas yang dicampur dengan maserasi daun belimbing wuluh.

Setelah peneliti membuat masing-masing filter, selanjutnya peneliti melakukan uji pada kain *polyester non woven*. Kain *polyester non woven* dengan ketebalan 5 mikron peneliti potong dengan ukuran 16cm x 14cm sebanyak 2 kain. Selanjutnya, masing-masing kain diletakkan pada filter pertama dan kedua. Pengujian kain *polyester non woven* dilakukan pada udara bersih dan udara kotor (hasil pembakaran kertas) di luar ruangan.

Selanjutnya peneliti melakukan uji untuk filter daun mahkota nanas. Filter peneliti potong dengan ukuran 16cm x 14cm sebanyak 2 buah. Selanjutnya, masing-masing filter peneliti letakkan pada filter pertama dan kedua. Pengujian daun mahkota nanas dilakukan pada udara bersih dan udara kotor (hasil pembakaran kertas) di luar ruangan. Berikut merupakan hasil pengujian daun mahkota nanas.

Selanjutnya peneliti melakukan uji untuk filter daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh. Filter peneliti potong dengan ukuran 16cm x 14cm sebanyak 2 buah. Selanjutnya, masing-masing filter peneliti letakkan pada filter pertama dan kedua. Pengujian filter daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh dilakukan pada udara bersih dan udara kotor (hasil pembakaran kertas) di luar ruangan. Berikut merupakan hasil pengujiannya.

Terakhir peneliti melakukan uji untuk filter daun mahkota nanas yang dicampur dengan maserasi belimbing wuluh. Filter peneliti potong dengan ukuran 16cm x 14cm sebanyak 2 buah. Selanjutnya, masing-masing filter peneliti letakkan pada filter pertama

dan kedua. Pengujian filter daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh dilakukan pada udara bersih dan udara kotor (hasil pembakaran kertas) di luar ruangan. Hasil penelitian masing-masing pengujian dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Pembahasan Hasil Uji Modja Air Guard

Pada penelitian ini, dikarenakan keterbatasan dana penelitan, peneliti melakukan uji hanya pada parameter CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, HCHO dan TVOC. Parameter tersebut diuji dengan menggunakan *air quality detector* yang diletakkan sebelum dan sesudah filter. Untuk hasil penelitian filter udara mahkota nanas yang dicampur dengan maserasi belimbing wuluh pada udara bersih diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu PM₁₀, yakni pada menit ke 60 berubah dari 145 µg/m³ menjadi 82 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari 100 µg/m³ menjadi 60 µg/m³. Begitu pula pada parameter HCHO, yakni dari 0,007 mg/m³ menjadi 0,004 mg/m³ dan TVOC dari 0,017 mg/m³ menjadi 0,009 mg/m³.

Untuk hasil penelitian filter udara mahkota nanas yang dicampur dengan maserasi belimbing wuluh pada udara kotor diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni CO dari 3 µg/m³ menjadi 2 µg/m³. Pada PM₁₀ terjadi penurunan dari 175 µg/m³ menjadi 72 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari 134 µg/m³ menjadi 52 µg/m³.

Hasil uji filter udara mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh pada udara bersih diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni PM₁₀ terjadi penurunan dari 105 µg/m³ menjadi 85 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 80 dari 63 µg/m³ menjadi 52 µg/m³.

Hasil uji filter udara mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh pada udara kotor diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni PM₁₀ terjadi penurunan dari 349 µg/m³ menjadi 120 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari 266 µg/m³ menjadi 98 µg/m³. Begitu pula pada parameter HCHO, yakni dari 0,009 mg/m³ menjadi 0,008 mg/m³ dan TVOC dari 0,019 mg/m³ menjadi 0,013 mg/m³. Untuk hasil penelitian filter udara daun mahkota nanas pada udara bersih diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni CO dari 3 µg/m³ menjadi 2 µg/m³. Pada PM₁₀ terjadi penurunan dari 296 µg/m³ menjadi 86 µg/m³. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari 226 µg/m³ menjadi 66 µg/m³.

Untuk hasil penelitian filter udara daun mahkota nanas pada udara kotor diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni CO dari $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada CO_2 dari $406 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $404 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pada PM10 terjadi penurunan dari $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hasil uji filter kain *polyester non woven* pada udara bersih diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni PM10 terjadi penurunan dari $103 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil uji filter kain *polyester non woven* pada udara kotor diperoleh bahwasanya, terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni CO dari $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. PM10 terjadi penurunan dari $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dari beberapa filter udara tersebut yang paling baik ialah filter udara yang terbuat dari daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh dan filter udara yang terbuat hanya dari daun mehkota nanas. Pada filter udara yang terbuat dari daun mahkota nanas yang dicampur dengan daun belimbing wuluh terjadi penurunan yang signifikan pada beberapa paramter, terutama pada udara kotor, yakni pada parameter PM10, PM2,5, HCHO, dan TVOC. Pada filter daun mahkota nanas terjadi penurunan CO, CO_2 , PM10, dan PM2,5. Tetapi di antara ke dua filter tersebut yang paling baik ialah filter mahkota nanas dan daun belimbing wuluh, karena terjadi penurunan yang signifikan pada PM10 dan PM2,5.

PM10 merupakan salah satu parameter yang paling mempengaruhi gangguan kesehatan manusia akibat pencemaran udara apabila dibandingkan dengan parameter lainnya. PM10 bisa menjadi wakil bagi parameter pencemaran udara yang lainnya. Bahkan menurut WHO (2011), PM10 merupakan prediktor kesehatan yang baik.

PM2,5 merupakan parameter yang lebih kecil dibanding PM10. Dengan demikian, PM2,5 akan menyebabkan gangguan kesehatan yang lebih kompleks pada manusia. Menurut WHO, rata-rata nilai partikulat yang seharusnya adalah 15 mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) selama 24 jam.

Setelah peneliti melakukan uji coba, peneliti melakukan validasi ahli media dengan Dosen Teknik Lingkungan Universitas Batanghari. Hasil validasi ahli media dapat dilihat pada **Lampiran 11** dan tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Validasi Awal oleh Validator Pertama

No.	Aspek Penilaian	Hasil Penilaian	Kriteria
1.	Tampilan	72%	Kurang Layak
2.	Keefektifan MODJA Air Guard	75%	Kurang Layak
3.	Penggunaan	50%	Kurang Layak
4.	Ketahanan	60%	Kurang Layak
	Rata-Rata Total	64,25%	Kurang Layak

Tabel 6. Hasil Validasi Awal oleh Validator Kedua

No.	Aspek Penilaian	Hasil Penilaian	Kriteria
1.	Tampilan	56%	Kurang Layak
2.	Keefektifan MODJA Air Guard	75%	Kurang Layak
3.	Penggunaan	50%	Kurang Layak
4.	Ketahanan	60%	Kurang Layak
	Rata-Rata Total	60,25%	Kurang Layak

Berdasarkan data tersebut, terdapat aspek yang perlu diperbaiki. Alat yang dinilai pada validasi awal memiliki kendala pada kain *polyester non woven* yang dibuat membentuk kantung untuk menjadi wadah filter alami. Karena terdapat celah pada kantung polyester yang ditempel pada sebuah sekat filter, peneliti membuat tambalan menggunakan isolasi. Hal ini menyebabkan kurangnya estetika pada alat. Selain itu, perawatan alat akan menjadi lebih sulit. Adapun kendala lain adalah kerapatan penutup alat. apabila penutup alat tidak rapat, maka alat tidak akan kedap dan menyebabkan udara dari luar masuk ke dalam alat secara bebas.

Setelah dilakukan penilaian, validator memberi saran untuk perbaikan. Saran yang pertama ialah menambah sekat pada alat untuk menghimpit filter, sehingga filter dapat berada dalam bingkai sekat tanpa isolasi. Selanjutnya, karena dirasa cukup kuat untuk diletakkan tanpa kain polyester, peneliti melakukan pengambilan data dengan kain polyester non woven tanpa filter dan filter tanpa kain polyester non woven.

Terkait kerapatan pada tutup dari alat, validator menyarankan untuk memberi tambalan berbahan karet untuk memadatkan area yang kosong antara tutup dan alat. Setelah dilakukan perbaikan, peneliti meminta validator untuk menilai kembali MODJA Air Guard. Berikut hasil validasi oleh Ibu Anggrika Riyanti, ST.,M.Si dan Ibu Hadrah, ST.,M.T.

Tabel 7. Hasil Validasi Akhir oleh Validator Pertama

No.	Aspek Penilaian	Hasil Penilaian	Kriteria
1.	Tampilan	96%	Sangat Layak
2.	Keefektifan MODJA Air Guard	100%	Sangat Layak
3.	Penggunaan	100%	Sangat Layak
4.	Ketahanan	100%	Sangat Layak
	Rata-Rata Total	99%	Sangat Layak

Tabel 8. Hasil Validasi Akhir oleh Validator kedua

No.	Aspek Penilaian	Hasil Penilaian	Kriteria
1.	Tampilan	96%	Sangat Layak
2.	Keefektifan MODJA Air Guard	95%	Sangat Layak
3.	Penggunaan	100%	Sangat Layak
4.	Ketahanan	100%	Sangat Layak
	Rata-Rata Total	97,75%	Sangat Layak

Berdasarkan hasil validasi oleh Ibu Anggrika Riyanti, ST,.M.Si dan dan Ibu Hadrah, ST,.M.T dapat diketahui bahwa validasi ahli media memperoleh nilai rata-rata sangat baik. Dengan begitu, MODJA *Air Guard* telah tervalidasi oleh ahli sebagai alat filtrasi yang layak dipakai.

Peneliti juga melakukan uji laboratorium untuk mengetahui kemampuan filter dari adsorben daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh dalam memfiltrasi SO₂ dan NO₂. SO₂ (Sulfur dioksida) dengan karakteristik berbau tajam namun tidak berwarna merupakan salah satu komponen polutan terbanyak (Halulanga dkk, 2021). SO₂ mampu memberikan dampak negatif bagi pernafasan manusia dan hewan (Takuloe dkk, 2023). SO₂ juga dapat mengganggu syaraf manusia (Tampa, 2020). Berdasarkan PP nomor 22 tahun 2021, batas normal SO₂ selama 1 jam adalah 150 µg/m³.

NO₂ (Nitrogen dioksida) memiliki karakteristik warna yang coklat kemerah-merahan dan bau asam nitrat yang dominan (Riwanto dan Sani, 2017). Menurut penelitian Darmawan 2018, NO₂ juga dapat mengganggu sistem pernafasan bahkan menjadi penyebab kematian. Berdasarkan PP nomor 22 tahun 2021, batas NO₂ selama 1 jam ialah sebesar 200 µg/m³.

Berdasarkan tabel hasil dari uji di laboratorium, filter dari adsorben daun mahkota nanas dan daun belimbing wuluh mampu memfiltrasi kadar SO₂ dan NO₂ kotor hasil pembakaran kertas dengan jarak 15cm.

E. Kesimpulan dan Saran

Hasil dari penelitian menunjukkan filter yang terbuat dari daun mahkota nanas yang dicampur daun belimbing wuluh yang paling efektif. Terjadi penurunan baku mutu pada menit ke 60, yakni PM10 terjadi penurunan dari $349 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara pada baku mutu PM 2,5 terjadi penurunan pada menit ke 60 dari $266 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Begitu pula pada parameter HCHO, yakni dari $0,009 \text{ mg}/\text{m}^3$ menjadi $0,008 \text{ mg}/\text{m}^3$ dan TVOC dari $0,019 \text{ mg}/\text{m}^3$ menjadi $0,013 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji laboratorium dan pengujian pada paramter SO_2 , CO, NO_2 , Pb, TSP, dan NMHC agar memenuhi baku mutu udara ambien sesuai PP RI No, 22 Tahun 2021.

Terima kasih kepada MAN 2 Kota Jambi yang telah memberikan dukungan kepada peneliti dalam melakukan penelitian ini. Terimakasih kepada Universitas Batanghari, khususnya Ibu Anggrika Riyanti, ST,.M.Si dan dan Ibu Hadrah, ST,.M.T yang telah membatu peneliti dalam memvalidasi produk yang peneliti buat.

Daftar Pustaka

- Abidin, J., Hasibuan, F. A., & Kunci, K. (2019). Pengaruh dampak pencemaran udara terhadap kesehatan untuk menambah pemahaman masyarakat awam tentang bahaya dari polusi udara. *Prosiding SNFUR-4*, 2(2), 978-979.
- Adrian, dr. K., 2021. Waspadai Bahaya Polusi Udara terhadap Kesehatan Paru-Paru. [daring] Alodokter. Tersedia pada: <<https://www.alodokter.com/lindungi-paru-paru-anda-dari-polusi-udara>> [Diakses 11 Juli 2024].
- Aini, F., Maritsa, H., Irvan, A., Sazali, A., & Wulandari, T. (2022). Pengelolaan Limbah Nanas Tangkit Menjadi Eco-enzyme di Desa Tangkit Baru Muaro Jambi. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 2(3), 1127
- Arba, S., & Sakriani, S. (2023). EFEKTIFITAS ALAT FILTRASI BERBAHAN PELEPAH PISANG DALAM MENURUNKAN DEBU KAYU PM2. 5 PADA INDUSTRI MEUBEL DI KOTA TERNATE BAGIAN UTARA. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 17(1), 52-57.
- Brass, G. M., Strauss, W. 1981. *Air Pollution Control. Part IV*. John Willey&Sons. New York.
- Chandra, Budiman. 2007. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Penerbit Kedokteran EGC.
- Chaniago, D., Zahara, A., & Ramadhani, I. S. (2020). Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sebagai Informasi Mutu Udara Ambien di Indonesia. *Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan*

Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.[Online]. Available: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>.

- Darmawan, F. S. M., Cholissodin, I., & Adikara, P. P. (2022). Klasifikasi Pengaruh Polusi Udara di Indonesia terhadap Kesehatan menggunakan Algoritme Kernel Modified K-Nearest Neighbor. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(6), 2617-2622.
- Faria, L. U. S., Pacheco, B. J. S., Oliveira, G. C., & Silva, J. L. (2020). *Production of cellulose nanocrystals from pineapple crown fibers through alkaline pretreatment and acid hydrolysis under different conditions. Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), Pp. 12350.
- Greenstone, M., & Fan, Q. C. (2019). Kualitas udara Indonesia yang memburuk dan dampaknya terhadap harapan hidup. *Chicago: Energy Policy Institute At The University of Chicago..*
- Handarni, D., Putri, S. H., & Tensiska, T. (2020). Skrining Kualitatif Fitokimia Senyawa Antibakteri pada Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium guajava L.*). *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(2), 182-187.
- Hasim, H., Arifin, Y. Y., Andrianto, D., & Faridah, D. N. (2019). Ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai antioksidan dan antiinflamasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 8(3), 86.
- Hidajat, D., Tilana, F. G., & Kusuma, I. G. B. S. A. (2023). Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Kulit. *Jurnal Kedokteran*, 12(4). 375.
- Ibrahim, H. M., Saad, M. M., & Aly, N. M. (2016). Preparation of single layer nonwoven fabric treated with chitosan nanoparticles and its utilization in gas filtration. *International Journal of ChemTech Research*, 9(6), 10.
- Kolte, P. P., & Shivankar, V. S. (2015). Bilayer non-woven fabric for air filtration. *International journal on Textile Engineering and Processes*, 1(3): 25-26.
- Lutfidiani, R., & Suryadhi, M. A. H. P. (2021). Analisis Kandungan Logam Timbal pada Minyak Sebelum dan Sesudah Digunakan Pedagang Gorengan Di Kelurahan Benoa. *Jurnal Arc. Com. Health*, 8(11), 569.
- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak Buruk Pencemaran Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), pp 48.

Ningsih, M., Sirait, R., & Jumiati, E. (2023). Pengaruh Nilai Ketahanan Tarik Terhadap Daya Regang Dalam Pembuatan Kertas Dari Bahan Baku Kulit Singkong dan Daun Nanas. *Jurnal Fisika Unand*, 12(4), 518-520.

Nufus, K., Mursiti, S., & Harjono, H. (2017). Optimasi preparasi prekursor bioetanol limbah mahkota nanas menggunakan enzim selulase jamur tiram. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3), pp 231.