

**ANALISIS EFEKTIVITAS MASKER TERHADAP
PARAMETER PENCEMAR UDARA HASIL INDUSTRI**

RAUDHOTUL JANNAH



**TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Analisis Efektivitas

dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Desember 2020

Raudhotul Jannah
F451160011

RINGKASAN

RAUDHOTUL JANNAH. Analisis Efektivitas Masker terhadap Parameter Pencemar Udara Hasil Industri. Dibimbing oleh ARIEF SABDO YUWONO dan MOH YANUAR JARWADI PURWANTO.

Peningkatan pada sektor industri di suatu wilayah memberikan dampak terhadap peningkatan pencemaran udara. Pencemaran udara akibat industri yang meresahkan diantaranya berasal dari asap cerobong pabrik, partikel sisa produksi dan bau yang berasal dari limbah sisa produksi. Para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat menyatakan bahwa partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}) dan kurang dari $2,5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) merupakan pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan. Pencemaran udara akibat aktivitas industri menimbulkan berbagai dampak kesehatan bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Pemaparan dalam jangka waktu lama akan berakibat pada berbagai macam gangguan kesehatan, seperti bronkhitis, *emphysema*, dan kanker paru-paru. Penggunaan masker merupakan upaya masyarakat untuk melindungi kesehatan dari dampak pencemaran udara. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai analisis efektivitas masker terhadap parameter pencemaran udara hasil dari proses industri. Salah satu permasalahan dalam penggunaan masker adalah ketidaknyamanan bernapas, oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai kenyamanan masker sebagai kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah orang Indonesia.

Terdapat dua tujuan dalam penelitian, yang pertama adalah menentukan efektivitas masker terhadap parameter pencemar udara hasil industri meliputi asap, ukuran partikel, debu jatuh dan kebauan. Tujuan kedua yaitu menentukan kenyamanan masker sebagai kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia. Penelitian ini dilakukan pada jenis masker sekali pakai berbahan dasar bahan *non woven* dengan penambahan filter $\text{PM}_{2.5}$ sebagai lapisan masker. Penambahan kawat lunak sebagai kerangka masker juga dilakukan pada penelitian ini.

Penentuan efektivitas masker dilakukan menggunakan ruang kotak uji masker dengan pemodelan pernapasan orang dewasa. Penentuan efektivitas masker didapat dari persamaan efektivitas. Penentuan efektivitas masker terhadap parameter pencemar hasil industri dilakukan dengan beberapa metode. Penentuan efektivitas masker terhadap asap dilakukan dengan mengukur opasitas menggunakan *Opacity Meter*. Parameter ukuran partikel diukur dengan melakukan pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Parameter lain yaitu debu jatuh didapat dari pengukuran konsentrasi debu jatuh yang dilakukan secara gravimetri. Pengukuran kebauan dilakukan menggunakan *odor judge panel*. Pada penelitian ini selain efektivitas masker juga dilakukan penentuan skala kenyamanan terhadap masker. Penentuan skala kenyamanan berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia dilakukan dengan metode skoring.

Efektivitas masker terhadap parameter asap mencapai 80% dengan nilai rata-rata opasitas sebelum melewati masker sebesar 36% dan nilai opasitas sesudah melewati masker sebesar 7%. Nilai opasitas sesudah melewati masker telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan pada KepmenLH No.13 tahun 1995 yaitu sebesar 35%. Efektivitas masker terhadap ukuran partikel adalah 99% dengan rata-rata ukuran partikel sebelum melewati masker adalah $46,9\text{ }\mu\text{m}$ dan ukuran partikel

sesudah melewati masker adalah 0,6 μm . Ukuran partikel sesudah melewati masker lebih kecil dibanding ukuran partikel berbahaya. Menurut pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat ukuran partikel berbahaya bagi pernapasan berkisar antara diameter 10 μm hingga 2,5 μm . Efektivitas masker terhadap debu jatuh mencapai 88%. Berdasarkan pengukuran konsentrasi debu jatuh sebelum melewati masker adalah 154 $\text{Ton/km}^2/\text{bulan}$ dan 142 $\text{Ton/km}^2/\text{Bulan}$, sedangkan konsentrasi debu jatuh sesudah melewati masker adalah 21 $\text{Ton/km}^2/\text{Bulan}$ dan 14 $\text{Ton/km}^2/\text{Bulan}$.

Efektivitas masker terhadap kebauan adalah 93% dengan intensitas kebauan sebelum melewati masker berkisar antara -2,9 hingga -1,6 sedangkan intensitas kebauan sesudah melewati masker berkisar antara -0,2 hingga -0,1. Pengukuran nilai *facial index* dilakukan terhadap 10 sampel wajah *europrosopic*. Nilai *facial index* adalah 81,0 dengan rata-rata tinggi wajah 12,8 cm dan lebar wajah 15,8 cm. Rata-rata tinggi dan lebar wajah pada pengukuran dijadikan acuan dalam penentuan dimensi masker. Dimensi masker yang digunakan untuk penentuan parameter kenyamanan adalah 13 cm x 16 cm. Berdasarkan pengukuran masker terhadap kenyamanan dengan metode skoring terhadap skala hedonik kenyamanan, 70% menyatakan nyaman sekali dan 30% menyatakan nyaman.

Berdasarkan pengukuran didapatkan kesimpulan bahwa penambahan filter $\text{PM}_{2.5}$ memberikan hasil yang baik terhadap efektivitas masker dalam mereduksi terhadap parameter asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan. Nilai efektivitas berkisar antara 80% hingga 93% dengan nilai rata-rata efektivitas sebesar 90%. Modifikasi masker dengan melakukan penambahan kerangka kawat lunak dan penentuan dimensi masker berdasarkan nilai *facial index* memberikan hasil yang baik bagi parameter kenyamanan masker. Modifikasi masker menghasilkan kenyamanan masker berkisar dari rentang skala kenyamanan hingga nyaman sekali.

Kata kunci: efektivitas, filter $\text{PM}_{2.5}$, kenyamanan, masker, pencemaran

SUMMARY

RAUDHOTUL JANNAH. Analysis of the Effectiveness of Masks on Industrial Air Pollutant Parameters. Supervised by ARIEF SABDO YUWONO and MOH YANUAR JARWADI PURWANTO.

An increase in the industrial sector in a region has an impact on increasing air pollution. The disturbing industrial-induced air pollution includes smoke from factory chimneys, residual production particles and odours from production waste. Environmental and public health experts claim that airborne particles in solid form with a diameter of less than 10 μm (PM10) and less than 2.5 μm (PM2.5) are a trigger for respiratory infections. Air pollution due to industrial activities has various health impacts on the people living around it. Long-term exposure will result in various health problems, such as bronchitis, emphysema, and lung cancer. The use of masks is a community effort to protect health from the effects of air pollution. Therefore, research is needed to analyse the effectiveness of masks on the parameters of air pollution resulting from industrial processes. One of the problems in using masks is the discomfort of breathing. Therefore, research is needed on masks' comfort as a mask design criterion based on Indonesians' face shape.

There are two objectives in the research, and the first is to determine the effectiveness of masks against industrial air pollutant parameters including smoke, particle size, dust and grey matter. The second objective is to determine the comfort of masks as a mask design criterion based on the Indonesian people's face shape. This research was conducted on a type of disposable mask made from a non-woven material with a PM2.5 filter as a mask layer. The addition of soft wire as a mask frame was also carried out in this study.

Determination of masks' effectiveness was carried out using a mask test box space with adult breathing modelling. Determining the effectiveness of masks is obtained from the effectiveness equation. Several methods carry out the determination of the effectiveness of masks on industrial pollutant parameters. Determination of the smoke effectiveness of masks is done by measuring the opacity using the Opacity Meter. Particle size parameters were measured by observing using a Scanning Electron Microscope (SEM). Another parameter, namely falling dust, is obtained from the measurement of the concentration of falling dust carried out gravimetrically. The measurement of silence is done using a judge panel odour. In this study, apart from masks' effectiveness, a comfort scale was also determined for masks. The comfort scale's determination based on the face shape of the Indonesian people is carried out by the scoring method.

The masks' effectiveness on smoke parameters reached 80% with an average value of opacity before passing the mask of 36% and an opacity value after passing the mask of 7%. After passing the mask, the opacity value has met the quality standards set out in KepmenLH No.13 of 1995, which is 35%. The mask's effectiveness on the particle size was 99% with the mean particle size before passing the mask was 46.9 μm , and the particle size after passing the mask was 0.6 μm . The particle size after passing through the mask is smaller than the dangerous particle size. According to environmental and public health experts, the particle size hazardous to respiration ranges from 10 μm to 2.5 μm in diameter. The

effectiveness of masks against falling dust reaches 88%. Based on the measurement, the concentration of dust falling before passing the mask is 154 Tonnes/ km²/Month and 142 Tonnes/km²/Month, while the concentration of dust falling after passing the mask is 21 Tonnes/km²/Month and 14 Tonnes/km²/Month.

The masks' effectiveness on odour is 93% with the intensity of odour before passing the mask ranging from -2.9 to -1.6 while the intensity of smell after passing the mask ranges from -0.2 to -0.1. The facial index value was measured on ten europsopic face samples. The facial index value was 81.0, with an average face height of 12.8 cm and a face width of 15.8 cm. The average height and width of the face in the measurement are used to determine the dimensions of the mask. The dimensions of the mask used for determining the comfort parameters are 13 cm x 16 cm. Based on the masks' measurement on comfort with the scoring method on the hedonic comfort scale, 70% stated that they were very comfortable, and 30% stated that they were comfortable.

Based on the measurement, it was concluded that the addition of a PM2.5 filter gave good results on masks' effectiveness in reducing the parameters of smoke, particle size, dust falling, and odour. The effectiveness values ranged from 80% to 93%, with an average effectiveness value of 90%. The mask's modification by adding a soft wireframe and determining the mask's dimensions based on the facial index value gave good results for the mask comfort parameters. The mask comfort ranging from the range of the comfort scale to very comfortable.

Keywords: air pollution, comfort, effectiveness, filter PM2.5, masks

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2020
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**ANALISIS EFEKTIVITAS MASKER TERHADAP
PARAMETER PENCEMAR UDARA HASIL INDUSTRI**

RAUDHOTUL JANNAH

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan

**TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

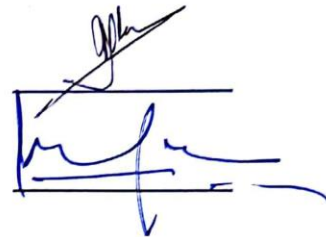
Tim Penguji pada Ujian Tesis: Dr. Ir. Moh Yani, M.Eng

Judul Tesis : Analisis Efektivitas Masker terhadap Parameter Pencemar Udara
Hasil Industri
Nama : Raudhotul Jannah
NIM : F451160011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Arief Sabdo Yuwono, M.Sc

Pembimbing 2:
Dr. Ir. M. Yanuar J Purwanto, MS.IPU



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Satyanto K. Saptomo, S.TP., M.Si
NIP 19730411 200501 1 002

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah F, M.Eng
NIP 19600419 198503 1 002



Tanggal Ujian: 29 Desember 2020

Tanggal Lulus:

PRAKATA

segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2018 sampai bulan Januari 2020 ini adalah efektivitas masker pernapasan Analisis Efektivitas Masker terhadap Parameter Pencemar Udara Hasil Industri

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Arief Sabdo Yuwono, M.Sc dan Dr. Ir. M. Yanuar J Purwanto, MS.IPU yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ir. Soleh selaku ayah, Ismayati selaku ibu, serta seluruh keluarga (Jundi Naufaldito Nibras dan Kafala Rafah Adziqo) yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Desember 2020

Raudhotul Jannah

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pencemaran Udara	4
2.2 Sumber Pencemaran Udara	5
2.3 Dampak Pencemaran Udara	8
2.4 Masker Pernapasan	9
2.5 Morfologi Wajah	11
2.6 Kenyamanan	14
III METODE	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Penelitian	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Efektivitas Masker	24
4.2 Penentuan Parameter Kenyamanan Masker	30
V SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	37
RIWAYAT HIDUP	42

DAFTAR TABEL

1	Zat-zat pencemar udara	6
2	Dampak pencemaran udara	9
3	Persyaratan material masker medis berdasarkan tingkat kinerja	11
4	Matriks tujuan, metode, data dan hasil diharapkan	16
5	Skala hedonisme terhadap kesan bau	21
6	Skala hedonisme terhadap kenyamanan	23
7	Analisis <i>facial index</i> dan tipe wajah panelis	30

DAFTAR GAMBAR

1	Tipe wajah <i>leptoprosopic</i> (Rahn 2009)	12
2	Tipe wajah <i>europrosopic</i> (Rahn 2009)	13
3	Tipe wajah <i>mesoprosopic</i> (Rahn 2009)	13
4	Diagram alir penelitian	15
5	Komponen masker pernapasan	18
6	Skema penentuan efektivitas	19
7	Skema penentuan efektivitas masker terhadap asap	19
8	Skema penentuan efektivitas masker terhadap ukuran partikel	20
9	Skema penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh	21
10	Diagram penentuan efektivitas masker terhadap kebauan	22
11	Titik-titik pengukuran tipe wajah (Rahn 2009)	23
12	Opasitas asap sebelum dan sesudah melewati masker	24
13	Potret partikel sebelum melewati masker	25
14	Potret partikel sesudah melewati masker	26
15	Rata-rata ukuran partikel sebelum dan sesudah melewati masker	26
16	Konsentrasi debu sebelum dan sesudah melewati masker	28
17	Nilai bau sebelum dan sesudah melewati masker	29
18	Tingkat kenyamanan masker	31

DAFTAR LAMPIRAN

1	Ruang kotak uji masker	38
2	Desain masker pernapasan dalam pengujian efektivitas masker	41

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pada sektor industri di suatu wilayah memberikan dampak terhadap peningkatan pencemaran udara. Pencemaran udara terdiri dari dua macam yaitu pencemaran udara luar ruangan (*outdoor air pollution*) dan pencemaran udara dalam ruangan (*indoor air pollution*). *International Agency for Research on Cancer* (IARC) telah mengemukakan bahwa pencemaran udara luar ruangan merupakan salah satu faktor karsinogenesis dengan *particulate matter* (PM) sebagai penyebab utama (Loomis *et al.* 2014). Pada peristiwa pencemaran udara, polutan atau zat pencemar adalah campuran dari gas yang bersifat heterogen dan partikulat (PM) (Jenko 2012). Dalam UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dijelaskan bahwa bentuk fisik dari zat-zat yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara dapat berupa gas maupun partikel. Pencemaran udara akibat industri yang meresahkan diantaranya berasal dari asap cerobong pabrik, partikel sisa produksi dan bau yang berasal dari limbah sisa produksi. Adanya partikel halus sebagai salah satu hasil dari proses produksi pada sektor industri dinilai cukup membahayakan. Hal ini didukung oleh pernyataan para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat bahwa partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10 μm (PM₁₀) dan kurang dari 2,5 μm (PM_{2.5}) merupakan pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan. Partikel tersebut dapat mengendap pada saluran pernapasan daerah bronkus dan alveoli. Partikel yang berukuran kurang 2,5 μm (PM_{2.5}) tidak disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan menempel pada gelembung paru, sehingga dapat menurunkan pertukaran gas (Bunawas *et al.* 1999).

Pencemaran udara akibat aktivitas industri menimbulkan berbagai dampak bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Salah satu dampak yang ditimbulkan adalah dampak kesehatan. Dampak terhadap kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara akan terakumulasi dari hari ke hari. Pemaparan dalam jangka waktu lama akan berakibat pada berbagai macam gangguan kesehatan, seperti bronkhitis, *emphysema*, dan kanker paru-paru (Stansfeld 2015). Polusi bau sebagai salah satu pencemaran yang terjadi tidak hanya menciptakan ketidaknyamanan, tetapi juga menimbulkan penyakit di masyarakat (Sakawi 2015). Bau lingkungan yang ditimbulkan dari proses industri dapat memicu gejala berbagai gangguan mekanisme fisiologis, penyakit akibat stres dan kemungkinan reaksi *pheromonal* (Shusterman 2010).

Kebersihan udara merupakan elemen yang sangat penting bagi kehidupan manusia, tanpa udara manusia tidak dapat bertahan hidup karena manusia butuh bernapas (Dewi dan Gayuh 2012). Di berbagai wilayah ditemukan penggunaan masker sebagai salah satu upaya masyarakat untuk mendapatkan udara yang bersih dan nyaman untuk pernapasan. Jenis masker yang digunakan bermacam-macam, mulai dari masker medis atau masker bedah yang dijual di pasaran hingga masker bahan kain dengan berbagai motif dan gambar menarik. Penggunaan masker bedah dan masker kain tidak sepenuhnya tepat, masker bedah dan masker kain tidak dirancang untuk digunakan sebagai penyaring partikulat dan tidak menyediakan banyak perlindungan pernapasan sebagai masker pernapasan. Masker bedah

memberikan perlindungan penghalang terhadap tetesan termasuk partikel pernapasan yang berukuran besar (Rengasamsy 2009).

Penggunaan masker sebagai upaya mendapatkan udara yang bersih juga perlu memperhatikan bahwa tidak semua masker dapat memberikan hasil maksimal sesuai dengan yang diharapkan. Penggunaan masker yang sesuai dengan standar kesehatan dapat memperkecil potensi paparan. Dalam sebuah penelitian di New York menjelaskan bahwa penggunaan masker yang memenuhi standar pada potensi sumber infeksi, akan meningkatkan perlindungan keseluruhan sebesar 300 kali lipat. Penggunaan masker yang tidak sesuai fungsinya mengakibatkan masker tidak dapat bekerja secara efektif sebagai alat perlindungan pernapasan. Oleh karena itu diperlukan penelitian analisis efektivitas masker terhadap parameter pencemaran udara hasil dari proses industri.

Masker tidak nyaman digunakan menjadi alasan orang tidak menggunakan masker tersebut (Ramadhan 2018). Masker yang nyaman digunakan merupakan aspek penting bagi masyarakat dalam pemilihan masker sebagai alat pelindung pernapasan. Perlindungan pernapasan juga harus mampu mengakomodasi tuntutan pemakainya yaitu kemudahan bernapas (Davies 2013). Faktor kenyamanan masker yang penting adalah kemudahan dalam bernapas. Masker yang tersedia di pasaran masih tidak memperhitungkan kenyamanan sebagai kriteria dalam pembuatan masker. Oleh karena itu diperlukan penelitian mengenai kenyamanan masker sebagai kriteria desain masker yang sesuai dengan bentuk wajah orang Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengukur efektivitas masker sebagai alat pelindung pernapasan terhadap parameter pencemar udara hasil industri (asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan intensitas kebauan). Penggunaan masker yang tidak sesuai standar membuat masker tidak efektif dalam memenuhi fungsi sebagaimana mestinya. Selain efektif, kenyamanan juga sangat penting sebagai salah satu aspek dalam kriteria pembuatan desain masker. Kenyamanan masker merujuk pada bentuk wajah masyarakat Indonesia. Masker yang tidak nyaman dalam aplikasinya adalah salah satu alasan masyarakat tidak mau memakai masker sebagai alat perlindungan diri. Berdasarkan masalah-masalah yang telah dikemukakan diatas, maka diperlukan penelitian yang dapat menjawab permasalahan tersebut. Pada penelitian ini permasalahan yang dibahas diantaranya sebagai berikut:

1. Masker tidak dapat menurunkan nilai parameter pencemar udara akibat aktivitas industri (asap, ukuran partikel, debu jatuh, intensitas kebauan) secara efektif.
2. Masker yang beredar di pasaran dinilai tidak nyaman dalam penggunaanya.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan efektivitas masker terhadap parameter pencemar udara hasil industri meliputi asap, ukuran partikel, debu jatuh dan kebauan.
2. Menentukan kenyamanan masker sebagai kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia.

1.4 Manfaat

Manfaat hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai efektivitas masker dalam menyaring parameter pencemar udara hasil industri (asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan).
2. Efektivitas masker yang tinggi memudahkan masyarakat dalam mengantisipasi pemilihan masker yang sesuai dengan fungsinya.
3. Memberikan pertimbangan mengenai kenyamanan sebagai salah satu aspek dalam kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia.
4. Sebagai pertimbangan bagi pemerintah daerah dan pihak yang terkait dalam menentukan kebijakan pemilihan alat perlindungan diri dalam mengurangi dampak pencemaran udara terhadap kesehatan manusia.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini dideskripsikan secara singkat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada jenis masker sekali pakai yang berbahan dasar bahan *non woven* dengan menambahkan filter PM_{2.5} sebagai salah satu lapisan masker.
2. Penelitian ini membahas tentang efektivitas masker dalam menurunkan nilai parameter pencemar meliputi asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan.
3. Penelitian ini membahas tentang kenyamanan masker pernapasan berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Udara merupakan kombinasi dari berbagai macam gas dengan perbandingan yang tidak tetap (Barman 2010). Komposisi dari berbagai macam gas tersebut membuat keadaan udara tidak selalu konstan atau selalu berubah dari waktu ke waktu. Salah satu perubahan yang terjadi adalah penurunan kualitas udara akibat aktivitas manusia yang berubah (Gilmore 2010). Perubahan kualitas ini dapat berupa perubahan sifat-sifat fisis maupun sifat-sifat kimiawi. Perubahan kimiawi, dapat berupa pengurangan maupun penambahan satu atau lebih komponen kimia yang terkandung dalam udara, atau yang lebih sering dikenal sebagai pencemaran udara.

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (1998), pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke udara oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran udara dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan, harta benda, ekosistem maupun iklim. Umumnya gangguan kesehatan akibat pencemaran udara terjadi pada saluran pernapasan dan organ penglihatan.

Pengertian lain mengenai pencemaran udara menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI nomor 1407 tahun 2002 tentang Pedoman Pengendalian Dampak Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan atau mempengaruhi kesehatan manusia. Sedangkan menurut peraturan pemerintah RI nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara terdiri dari ribuan komponen, diantaranya partikulat udara (PM), nitrogen dioksida (NO_2), senyawa organik yang mudah menguap (termasuk benzena), karbon monoksida (CO), dan sulfur dioksida (SO_2) (Mannucio 2017).

Wardhana (2004) juga menambahkan bahwa pencemaran udara dapat juga diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat asing di dalam udara yang menyebabkan terjadinya perubahan komposisi udara dari susunan atau keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing tersebut di dalam udara dalam jumlah dan jangka waktu tertentu akan dapat menimbulkan gangguan pada kehidupan manusia, hewan, maupun tumbuhan. Pencemaran udara ambien sangat berkaitan erat dengan banyaknya efek yang ditimbulkan terhadap kesehatan seperti infeksi pernapasan akut, perubahan fungsi paru-paru dan serangan asma (Rai 2011).

2.2 Sumber Pencemaran Udara

Menurut Soedomo (2011), sumber pencemaran dapat berupa kegiatan yang bersifat alami (natural) dan aktivitas manusia (kegiatan antropogenik). Sumber pencemaran alami adalah letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu spora tumbuhan dan lain sebagainya. Sedangkan pencemaran udara akibat aktivitas manusia berasal dari kegiatan transportasi, industri, pertambangan, sampah baik akibat dekomposisi ataupun sampah rumah tangga. Meskipun terdapat sejumlah sumber alami seperti aktivitas fisik gunung berapi sebagai sumber pencemar alami, tetapi aktivitas manusia adalah penyebab utama terjadinya pencemaran udara di lingkungan (Kampa 2008).

Menurut Mukono (2002), bahan pencemar atau polutan dibagi menjadi dua bagian yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah semua pencemar yang berlangsung dilepas oleh sumber dan belum mengalami perubahan. Pencemaran udara primer mencakup sekitar 90% dari jumlah udara seluruhnya. Polutan primer adalah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa gas maupun partikel. Polutan primer yang berbentuk gas terdiri dari senyawa karbon (hidrokarbon, hidrokarbon teroksigenasi, dan karbon dioksida), senyawa sulfur (sulfur oksida), senyawa nitrogen (nitrogen oksida, dan amoniak), dan senyawa halogen (fluor, klorin, hidrogen klorida, hidrokarbon terklorinasi dan bromin). Sedangkan polutan primer yang berbentuk partikel dalam atmosfer mempunyai karakteristik spesifik, dapat berupa zat padat ataupun suspensi aerosol cair. Bahan partikel tersebut dapat berasal dari proses kondensasi, proses dispersi misalnya proses menyemprot (*spraying*), maupun proses erosi bahan tertentu. Asap (*smoke*) seringkali dipakai untuk menunjukkan campuran bahan partikulat (*particulate matter*), uap (*fumes*), gas dan kabut (*mist*).

Polutan sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia dari udara, misalnya reaksi fotokimia. Sebagai contoh adalah disosiasi NO_2 yang menghasilkan N dan O radikal. Proses kecepatan dan arah reaksinya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi relatif dari bahan reaktan, derajat fotoaktivasi, kondisi iklim, topografi lokal dan adanya embun. Polutan sekunder ini mempunyai sifat fisik dan sifat kimia yang tidak stabil. Termasuk dalam polutan sekunder ini ozon, *Peroxy Acyl Nitrat (PAN)* dan *formaldehid*. Secara lebih sederhana, Ratnani (2008) menjelaskan zat pencemar pada Tabel 1.

Tabel 1 Zat-zat pencemar udara

No	Zat Pencemar Udara	Deskripsi	Sumber Pencemar
1	Karbon monoksida (CO)	Tidak berwarna Tidak berbau Bersifat racun	Pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil Buangan kendaraan bermotor
2	Nitrogen dioksida (NO ₂)	Sangat beracun	Pembakaran batu bara Pembangkit energi listrik Knalpot kendaraan bermotor
3	Sulfur dioksida (SO ₂)	Berbau tajam Tidak berwarna Tidak bersifat korosi	Pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur
4	Partikulat	Terlihat berbahaya	Cerobong pabrik
5	Hidrokarbon (HC)	Uap bensin yang tidak terbakar	Pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna
6	Chlorodifluorocarbon (CFC)	Gas yang menyebabkan penipisan ozon di atmosfer	Dihasilkan dari berbagai alat rumah tangga (kulkas, AC) Alat pemadam kebakaran Pelarut peptisida Alat penyemprot (aerosol)
7	Timbal (Pb)	Logam berat yang digunakan untuk meningkatkan pembakaran pada kendaraan bermotor	Pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna
8	Karbon dioksida (CO ₂)	gas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna kendaraan bermotor	Pembakaran kendaraan bermotor

Sumber : Ratnani (2008)

2.2.1 Asap

Asap adalah suspensi partikel kecil di udara yang berasal dari pembakaran yang tidak sempurna dari suatu bahan bakar. Asap merupakan perpaduan atau campuran karbon dioksida, air, zat yang berdifusi di udara, zat partikulat, hidrokarbon, zat kimia organik, nitrogen oksida, dan mineral. Komposisi asap tergantung dari banyak faktor yaitu jenis bahan pembakar, kelembaban, temperatur api, kondisi angin, dan hal lain yang mempengaruhi cuaca baik asap tersebut baru maupun lama (Faisal *et al.* 2012). Salah satu sumber pencemaran udara yang paling signifikan adalah asap yang berasal dari kendaraan bermotor. Hal ini dikarenakan jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor disebabkan oleh tingginya aktivitas masyarakat yang sangat membutuhkan sarana transportasi untuk kelancaran aktivitas mereka (Budiharjo 1991).

2.2.2 Partikel debu

Partikel debu melayang merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang tersebar di udara dengan diameter yang sangat kecil. Partikel debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan. Menurut ukurannya partikel di atmosfer dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu debu jatuh (dengan diameter aerodinamis berkisar antara 100 – 1000 μm), TSP (diameter aerodinamis < 100 μm), *Particulate Matter* (PM) terhirup (PM₁₀ dengan diameter aerodinamis < 10 μm), dan partikulat halus (PM_{2.5} dengan diameter aerodinamis < 2,5 μm) (Zhao and Shi 2012). Menurut PP No 41 Tahun 1999 debu jatuh dapat diartikan sebagai debu yang berada di udara ambien yang dikumpulkan atau ditangkap secara pasif dengan penangkap debu jatuh selama waktu tertentu, kemudian disaring dan jumlah debu totalnya ditentukan secara gravimetri.

Debu yang terkumpul adalah padatan yang berukuran lebih besar dari 10 μm yang terdapat dalam udara ambien dan dinyatakan dalam Ton/km²/Bulan. Baku mutu debu jatuh yang ditentukan oleh pemerintah (PP No 41 Tahun 1999) adalah 10 Ton/km²/Bulan untuk daerah pemukiman dan 20 Ton/km²/Bulan untuk daerah industri. Partikel debu mempunyai bentuk yang sangat bervariasi mulai dari bulat, lonjong, kubus, hingga bentuk yang tidak biasa ditemukan pada umumnya. Sebagian partikel debu berbentuk datar dan berlapis serta sebagian lainnya berbentuk bulat. Debu dengan ukuran yang lebih besar dan lebih rapat dapat jatuh ke permukaan bumi hanya dalam beberapa menit sedangkan debu yang lebih kecil dan lebih tidak rapat terus melayang di atmosfer dalam beberapa hari sampai beberapa minggu (Godish 2004).

Partikel mikro yang dijumpai di udara dapat berupa *particulate matter* dengan diameter kurang 10 μm (PM₁₀) atau *particulate matter* dengan ukuran diameter kurang dari 2,5 μm (PM_{2.5}). Dalam berbagai pembahasan partikel udara yang berukuran kurang dari 2,5 μm dapat dianggap sangat membahayakan (Achmadi 2011). *Particulate matter* memiliki dampak jangka panjang yang serius pada kesehatan manusia karena dapat mencapai bagian terdalam paru-paru yang merusak sistem pernapasan manusia (Nagar *et al.* 2014).

2.2.3 Kebauan

Kebauan adalah bau yang tidak diinginkan dalam kadar dan waktu tertentu sehingga dapat mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Bau sendiri sering menunjukkan indikator mengenai buruknya kualitas udara. Bau yang tidak sedap biasanya timbul akibat senyawa-senyawa organik dan sulfurik. Sedangkan intensitas kebauan merupakan ukuran stimulus yang dihasilkan dari ambang bau salah satu konsentrasi odoran tertentu. Intensitas bau akan naik secara logaritmik seiring dengan semakin tingginya konsentrasi odoran (Soedomo 2011). Baku mutu tingkat kebauan adalah batas maksimal bau dalam udara yang diperbolehkan yang tidak mengganggu kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Berdasarkan Kepmen LH No.50 tahun 1996 tentang baku mutu tingkat kebauan diatur dalam dua jenis zat odoran tunggal dan zat odoran campuran. Sumber-sumber bau di lingkungan diantaranya yaitu industri kimia dan *petroleum* berupa industri bahan kimia anorganik (terdiri dari plastik, karet, sabun, deterjen, tekstil), industri penghasil pakan ternak sumber kedua dengan senyawa dan kelompok baunya yaitu amonia, *hydrogen sulfide*, alkohol, aldehid dan N_2O . Karakteristik bau dapat diterangkan dengan menggunakan deskriptor bau yang dapat diterima oleh indera penciuman manusia. Penentuan deskriptor bau dilakukan menggunakan *odor judge panel*, yaitu hidung manusia.

2.3 Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah permasalahan global yang menjadi salah satu penyebab kematian dan peningkatan risiko penyakit kronis (Egondi 2013). Efek negatif yang terjadi akibat pencemaran udara telah banyak terjadi seperti gangguan fungsi paru-paru manusia, degradasi material, dan luka pada tanaman. Selain mempengaruhi kesehatan manusia, di California Selatan pencemaran udara juga menyebabkan pengurangan hasil produksi hingga mencapai 30% untuk beberapa tanaman (Hall 2002). Menurut Budiyo (2001), berlebihannya konsentrasi zat pencemar atau partikel pencemar hingga melampaui ambang batas toleransi yang diperkenankan akan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan, manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan dan rusaknya benda-benda (material). Dampak negatif tersebut berakibat pada mata rantai berikutnya yaitu pada ekosistem flora dan fauna. Secara lebih rinci dampak-dampak pencemaran lingkungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Dampak pencemaran udara

No	Objek Terkena Dampak	Dampak yang Ditimbulkan
1	Manusia	Iritasi saluran pernapasan Iritasi mata alergi kulit Kanker paru Turunnya produktivitas Iritasi mukosa saluran pernapasan Penyakit saluran Pernapasan kronik (CNSRD)
2	Tanaman	Terjadinya penurunan tingkatan kandungan enzim Gangguan pada respon fisiologis Perubahan sistem fotosintesis Perusakan zat hijau daun(menguning) Terjadinya <i>Flecking</i> (daun bintik-bintik) penurunan hasil panen
3	Hewan	Terjadinya gejala paralisis sistem saraf dan konvulsi Edema pulmonari
4	Material	Timbulnya karat pada permukaan logam Berubahnya kemampuan listrik logam Terbentuknya noda/kotoran pada batuan Pelapukan batuan kapur Merusak struktur kulit dan kertas
5	Terjadinya hujan asam	kerusakan pada bangunan dan benda-benda dari logam terjadinya pengasaman danau dan sungai

Sumber : Budiyo (2001)

2.4 Masker Pernapasan

Alat pelindung pernapasan (masker) digunakan untuk melindungi saluran pernapasan dari risiko paparan gas, uap, debu atau udara yang telah terkontaminasi. Selain penggunaannya pada keadaan darurat, alat pelindung ini juga dipakai secara rutin (berkala) atau dipakai sehari-hari. Masker sebagai alat pelindung pernapasan adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi organ pernapasan dengan mengalirkan udara bersih dan sehat atau menyaring cemaran bahan kimia, mikroorganisme, partikel yang berupa debu, kabut (aerosol), uap, asap, gas (*flume*), dan sebagainya.

Menurut Suma'mur (2009), masker adalah alat untuk melindungi dari debu atau partikel-partikel lebih kasar yang masuk ke dalam saluran pernapasan. Masker terbuat dari kain dengan ukuran pori-pori tertentu. Masker terdiri atas beberapa jenis yaitu:

1. Masker penyaring debu
Masker ini berguna untuk melindungi pernapasan dari serbuk-serbuk logam, penggerindaan atau serbuk kasar lainnya.
2. Masker berhidung
Masker ini dapat menyaring debu atau benda sampai ukuran 0,5 mikron, bila kita sulit bernafas waktu memakai alat ini maka masker hidungnya harus diganti karena filternya tersumbat oleh debu.
3. Masker bertabung
Masker bertabung mempunyai filter yang baik daripada masker berhidung. Masker ini sangat tepat digunakan untuk melindungi Pernapasan dari gas tertentu. Berbagai macam tabungnya tertulis untuk macam-macam gas yang sesuai dengan jenis masker yang digunakan.
4. Masker kertas
Masker ini digunakan untuk menyerap partikel-partikel berbahaya dari udara agar tidak masuk ke jalur pernapasan. Pada penggunaan masker kertas, udara disaring permukaan kertas yang berserat sehingga partikel-partikel halus yang terkandung dalam udara tidak masuk ke saluran pernapasan.
5. Masker plastik
Masker ini digunakan untuk menyerap partikel-partikel berbahaya dari udara agar tidak masuk jalur pernapasan. Ukuran masker ini sama dengan masker kertas, namun ada lubang-lubang kecil di permukaannya untuk aliran udara, tetapi tidak bisa menyaring udara. Fungsi penyaring udara terletak pada sebuah tabung kecil yang diletakan di dekat rongga hidung. Di dalam tabung ini diisikan semacam obat yang berfungsi sebagai penawar racun.

Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah mengatur standar secara nasional mengenai masker berbahan dasar *non woven*. Pada standarisasi tersebut masker berbahan *non woven* dikategorikan sebagai masker medis. Standar nasional untuk masker kategori ini tertuang dalam SNI 8488:2018 tentang Spesifikasi standar untuk kinerja material yang digunakan dalam masker medis. Standar nasional ini telah menyadur ASTM F2100 sebagai standar yang digunakan berskala internasional. Dokumen SNI masker medis menjelaskan konstruksi, desain, persyaratan kinerja dan metode pengujian untuk masker medis yang dimaksudkan untuk membatasi penularan agen infeksi petugas medis kepada pasien selama prosedur pembedahan atau proses medis lainnya dengan persyaratan serupa.

Material masker yang ditetapkan pada SNI 8488:2018 adalah masker yang terdiri dari beberapa lapisan bahan. Desain masker juga telah ditetapkan pada standar ini. Desain masker yang ditetapkan adalah masker yang dapat menutupi seluruh bagian hidung, mulut dan dagu secara sempurna. Persyaratan mutu pada masker medis juga dilihat dari *bacterial filtration efficiency (BFE)*, *microbial cleanliness*, *differential pressure*, dan *infective agent*. BFE adalah efektivitas material masker medis dalam mencegah lewatnya bakteri aerosol serta dinyatakan dalam persentase dari jumlah diketahui yang tidak menembus material masker medis pada laju alir aerosol yang ditetapkan. Sementara *differential pressure* menunjukkan tingkat permeabilitas udara dari masker diukur dengan menentukan perbedaan tekanan di masker dalam kondisi aliran udara, suhu, dan kelembaban tertentu. Penetapan persyaratan kinerja masker disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Persyaratan material masker medis berdasarkan tingkat kinerja

Karakteristik	Penghalang Tingkat 1	Penghalang Tingkat 2	Penghalang Tingkat 3
Efisiensi filtrasi bakteri (%)			
Tekanan diferensial (mm H ₂ O/cm ³)	< 4,0	< 5,0	< 5,0
Efisiensi filtrasi partikulat sub-mikron 0,1 mikron (%)			
Resistensi terhadap penetrasi oleh darah sintesis, tekanan minimum dalam mmHg untuk hasil lulus uji	80	120	160
Sebaran api	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3

Sumber : SNI 8488: 2018

2.5 Morfologi Wajah

Secara umum morfologi tipe wajah dipengaruhi oleh bentuk kepala, jenis kelamin, dan usia (Jeremic *et al.* 2013). Walaupun bentuk wajah setiap orang berbeda, seseorang mampu mengenal ribuan wajah karena ada kombinasi unik dari kontur nasal, bibir, rahang, dan sebagiannya sehingga memudahkan seseorang untuk mengenal satu sama lain. Bagian-bagian yang dianggap mempengaruhi wajah adalah tulang pipi, hidung, rahang atas, rahang bawah, mulut, dagu, mata, dahi, dan supraorbital.

Perubahan tipe wajah menurut usia dibagi menjadi 3 yaitu pada usia 5-10 tahun, 10-15 tahun, dan 15-25 tahun. Usia 5-10 tahun wajah seseorang tersebut mengalami perubahan sebesar 40%, usia 10-15 tahun mengalami perubahan sebesar 40% juga dan yang terakhir usia 15-25 tahun mengalami proses pencarian keseimbangan hingga akhirnya wajah mengalami kematangan (Ardhana 2009). Perubahan tipe wajah pada perempuan terjadi lebih cepat dibandingkan laki-laki pada masa pubertas karena dipengaruhi oleh perbedaan percepatan pertumbuhan antara laki-laki dan perempuan. Pada usia pubertas, anak laki-laki biasanya lebih aktif dibandingkan anak perempuan sehingga masukan zat gizi pertumbuhan dipakai sebagai bahan pembentukan energi (Ardhana 2009).

Van Blarcom (2005) menentukan tipe wajah berdasarkan indeks morfologi wajah. Indeks tersebut merupakan hasil pengukuran pada tinggi wajah (Na-Me) dibagi dengan lebar wajah (Zy-Zy). Dari perhitungan tersebut beliau mengklasifikasikan tipe wajah ke dalam beberapa bentuk yaitu *hypereuropsopic* dengan indeks $x - 78,9$, *europsopic* dengan indeks $79,0 - 83$, *mesoprosopic* dengan indeks $84,0 - 87,9$, *leptoprosopic* dengan indeks $88,0 - 92,9$ dan *hyperleptoprosopic* dengan indeks $93,0 - x$. Tipe wajah rata-rata yang dimiliki manusia adalah *europsopic*, *mesoprosopic* dan *leptoprosopic* (Rahn 2009).

2.5.1 Tipe wajah *Leptoprosopic*

Tipe wajah *leptoprosopic* memiliki ciri-ciri bentuk kepala panjang dan sempit, bentuk dan sudut bidang mandibula yang sempit, bentuk wajah seperti segitiga (*tapered*), tulang pipi tegak, rongga orbital berbentuk rektangular dan aperture nasal

yang lebar (Prendergast 2012). Tipe wajah ini memiliki indeks wajah berkisar antara 90,0- 94,9. Kebanyakan bentuk wajah ini dimiliki oleh ras Negroid dan Aborigin Australia. Tipe wajah *leptoprosopic* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tipe wajah *leptoprosopic* (Rahn 2009)

Tipe wajah *leptoprosopic* memiliki tulang hidung cenderung tinggi dan hidung terlihat lebih *protrusif*. Karena sangat *protrusif*, kadang-kadang hidung menjadi bengkok bahkan turun. Oleh karena bagian hidung dari tipe wajah *leptoprosopic* lebih *protrusif*, glabella dan lingkaran tulang orbital bagian atas menjadi sangat menonjol sedangkan tulang pipi menjadi terlihat kurang menonjol. Tipe wajah juga mempengaruhi bentuk lengkung gigi. Bentuk wajah yang sempit dan panjang akan menghasilkan lengkung maksila dan palatum yang panjang, sempit, dan dalam. Selain itu, mandibula dan bibir bawah cenderung menjadi retrusif sehingga profil wajah menjadi cembung (Baral 2010).

2.5.2 Tipe wajah *Europrosopic*

Tipe wajah *europrosopic* memiliki tulang pipi yang lebih lebar, datar, dan kurang *protrusif* sehingga membuat konfigurasi tulang pipi terlihat jelas berbentuk persegi. Bola mata juga lebih besar dan menonjol karena kavitas orbital yang dangkal. Karakter wajah seperti ini membuat tipe wajah *europrosopic* terlihat lebih menonjol daripada *leptoprosopic*. Tipe wajah *europrosopic* memiliki lengkung maksila dan palatum yang lebar dan dangkal. Mandibula dan dagu cenderung lebih *protrusif* sehingga profil wajah menjadi lurus atau bahkan cekung (Ferdousi 2013). Tipe wajah *europrosopic* memiliki rentang indeks wajah berkisar antara 80,0-84,9. Wajah ini biasanya terdapat pada keturunan bangsa melayu Deutro Melayu seperti ras Batak, Minang, Jawa, Bugis, dan Melayu (Irsa dan Hon 2013). Tipe wajah *europrosopic* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tipe wajah *europrosopic* (Rahn 2009)

2.5.3 Tipe wajah *Mesoprosopic*

Tipe wajah *mesoprosopic* memiliki beberapa karakteristik fisik antara lain, kepala lonjong dan bentuk muka terlihat oval dengan zigomatik yang sedikit mengecil, profil wajah ortogonal, aperture nasal yang sempit, spina nasalis menonjol dan *meatus auditori external* membulat. Tipe wajah *mesoprosopic* memiliki bentuk hidung, dahi, tulang pipi, bola mata, dan lengkung rahang yang tidak selebar tipe wajah *europrosopic* dan tidak sesempit tipe wajah *leptoprosopic*. Tipe wajah ini kebanyakan dimiliki oleh orang-orang dengan ras Kaukasoid. Tipe wajah ini memiliki rentang indeks wajah antara 85,0-89,9. Tipe wajah *mesoprosopic* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Tipe wajah *mesoprosopic* (Rahn 2009)

2.6 Kenyamanan

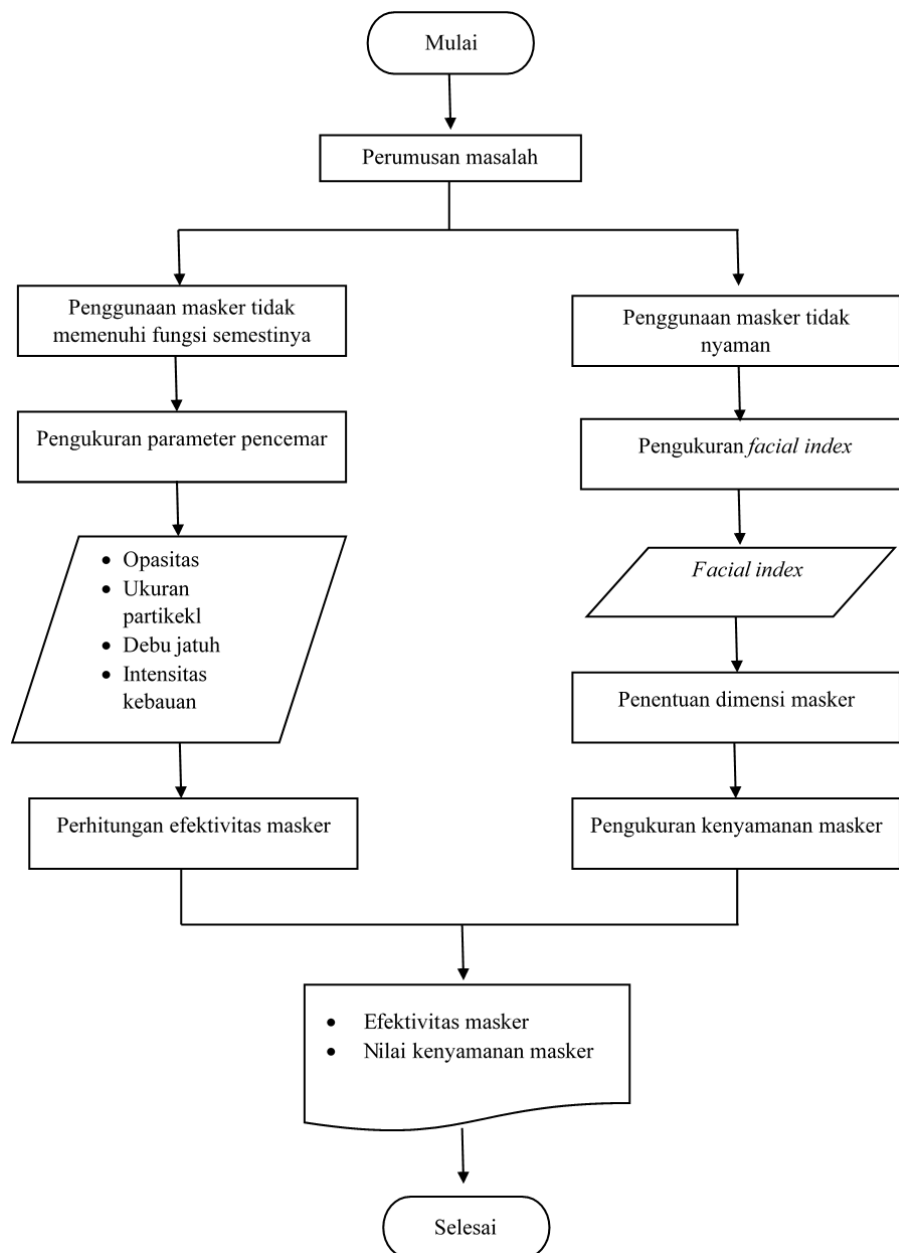
Faktor kenyamanan pengguna merupakan unsur penting dalam sebuah proses perancangan produk, hal ini dapat dilihat dengan penggunaan teori ergonomi. Teori ergonomi dalam produk adalah teori yang mendasari perencanaan produk dengan mempertimbangkan kenyamanan manusia (Manuaba *et al.* 2000). Istilah ergonomi berasal dari bahasa Latin yaitu *Ergon* yang berarti kerja, dan *nomor* yang berarti hukum alam. Dengan demikian maka ergonomi dapat didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya, yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen, dan perancangan (Nurmianto 1998). Ergonomi juga berkaitan dengan optimasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan manusia terhadap suatu produk.

Kenyamanan adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap suatu produk maupun lingkungannya (Tarwaka 2010). Kenyamanan dinilai berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam dirinya melalui indra dan syaraf yang kemudian dicerna otak untuk dinilai. Dalam penilaian yang terlibat tidak hanya masalah fisik biologis, namun juga perasaan. Suara, cahaya, bau, suhu, dan rangsangan lain ditangkap sekaligus yang kemudian diolah oleh otak. Otak akan memberikan penilaian relatif mengenai kenyamanan (Wignojosoebroto 2007).

Tujuan utama penerapan ergonomi dan kenyamanan adalah pencapaian kualitas hidup manusia secara optimal (Buckle 2005). Secara umum penerapan ergonomi dapat dilakukan dimana saja, baik di lingkungan rumah, di perjalanan, di lingkungan sosial maupun di lingkungan tempat kerja. Ergonomi mulai dicetuskan pada tahun 1949, akan tetapi aktivitas yang berkaitan dengan ergonomi telah bermunculan puluhan tahun sebelumnya (Gavriel 2001).

III METODE

Masker yang digunakan dalam penelitian adalah masker dengan jenis masker *non woven* yang telah dilakukan beberapa perubahan. Perubahan yang dilakukan mencakup penambahan filter PM_{2.5} sebagai salah satu lapisan, penentuan dimensi berdasarkan nilai *facial index*, dan penambahan kerangka kawat lunak. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 4. Untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini dilakukan beberapa metode. Keterkaitan antara tujuan, metode, data dan hasil yang diharapkan disajikan pada Tabel 4.



Gambar 4 Diagram alir penelitian

Tabel 4 Matriks tujuan, metode, data dan hasil diharapkan

Tujuan	Metode	Data yang dihasilkan	Hasil yang diharapkan
Menentukan efektivitas masker terhadap parameter pencemar udara hasil industri meliputi asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan	Pengukuran opasitas menggunakan <i>Opacity Meter</i>	Nilai opasitas sebelum dan sesudah melewati masker	Efektivitas masker lebih tinggi dibandingkan dengan masker di Pasaran Nilai opasitas setelah melewati masker dibawah baku mutu Kepmen LH No.13 Tahun 1995
	Pengukuran ukuran partikel menggunakan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	Ukuran partikel sebelum dan sesudah melewati masker	Efektivitas masker lebih tinggi dibandingkan dengan masker di Pasaran Ukuran partikel setelah
	Pengukuran konsentrasi debu jatuh secara gravimetri	Konsentrasi debu jatuh sebelum dan sesudah melewati masker	Efektivitas masker lebih tinggi dibandingkan dengan masker di Pasaran Konsentrasi debu jatuh setelah melewati masker dibawah baku mutu PP No.41 Tahun 199
	Pengukuran intensitas kebauan dengan <i>odor judge panel</i>	Intensitas kebauan sebelum dan sesudah melewati masker	Efektivitas masker lebih tinggi dibandingkan dengan masker di Pasaran
Menentukan parameter kenyamanan masker sebagai salah satu kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia	Pengukuran <i>facial index</i>	<i>facial index</i>	Dimensi masker didasarkan pada nilai rata-rata <i>facial index</i>
	Pengukuran kenyamanan dengan metode skoring	Nilai kenyamanan masker	Kenyamanan masker diantara rentang nyaman hingga sangat nyaman sekali

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juli 2018 hingga Januari 2020. Penelitian meliputi penentuan efektivitas masker terhadap parameter pencemar dan penentuan parameter kenyamanan sebagai kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Udara dan Kebisingan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB dan Ruang *Scanning Electron Microscope (SEM)* LIPI.

3.2 Alat dan Bahan

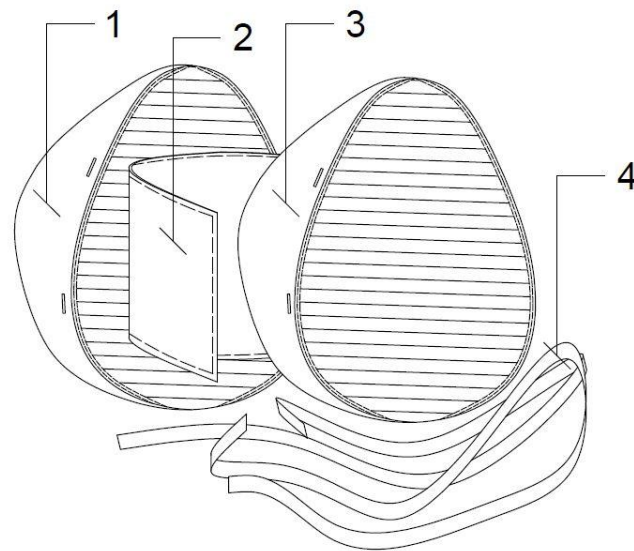
Bahan yang diperlukan dalam penelitian diantaranya adalah bahan *non woven* dan filter PM_{2.5} yang digunakan sebagai bahan penyusun lapisan masker. Selain itu diperlukan kawat lunak dengan diameter 1 mm yang digunakan sebagai kerangka masker. Dalam penentuan efektivitas masker terhadap parameter pencemar diperlukan bahan meliputi kertas filter dengan diameter 47 mm, alkohol 70%, dan sumber pencemar. Sumber pencemar yang digunakan dalam pengukuran berupa asap hasil pembakaran dari ban bekas dan jerami, asap knalpot kendaraan bermotor, dan sampah rumah tangga. Sampah rumah tangga yang diperlukan dibagi kedalam tiga jenis yaitu sampah rumah tangga berumur 1 hari, sampah rumah tangga yang berumur 3 hari, dan popok bekas pakai.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah *opacity meter*, neraca analitik, universal oven, *stopwatch*, kaca *cover*, dan *stub* mikroskop. Pengukuran ukuran partikel dan pori bahan dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Penentuan efektivitas dilakukan pada ruang kotak uji masker yang memiliki dimensi $P = 1\text{ m}$, $L = 0,5\text{ m}$, dan $T = 0,5\text{ m}$. Pada penentuan efektivitas dibutuhkan juga pompa akuarium berkapasitas 3500 ml/menit yang merujuk pada kapasitas pernapasan orang dewasa. Pengolahan data pada penelitian dilakukan dengan *software Ms. Office 2013*.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Penentuan efektivitas masker

Penentuan masker yang digunakan adalah masker berbahan *non woven* atau tidak tenun sekali pakai dengan penambahan filter PM_{2.5} sebagai salah satu lapisan. Secara lebih rinci komponen masker pernapasan penyusun masker disajikan pada Gambar 5.



- Ket : 1. Meltbown nonwoven (bentuk segitiga masker)
 2. Filter PM_{2.5} (rectangle shape)
 3. Meltbown nonwoven (bentuk segitiga masker)
 4. Tali masker

Gambar 5 Komponen masker pernapasan

Pengukuran efektivitas masker terhadap parameter pencemar dilakukan menggunakan ruang kotak uji masker dengan pemodelan pernapasan orang dewasa. Ruang kotak uji masker digambarkan secara lebih terperinci pada Lampiran 1. Pemodelan dalam perhitungan ini dibuat menyesuaikan dengan kapasitas pernapasan pada orang dewasa yaitu 3500 ml/menit (Sari 2013). Perhitungan efektivitas masker dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 (Kurniawan *et al.* 2014). Skema penentuan efektivitas masker terhadap parameter pencemar udara hasil industri disajikan pada Gambar 6.

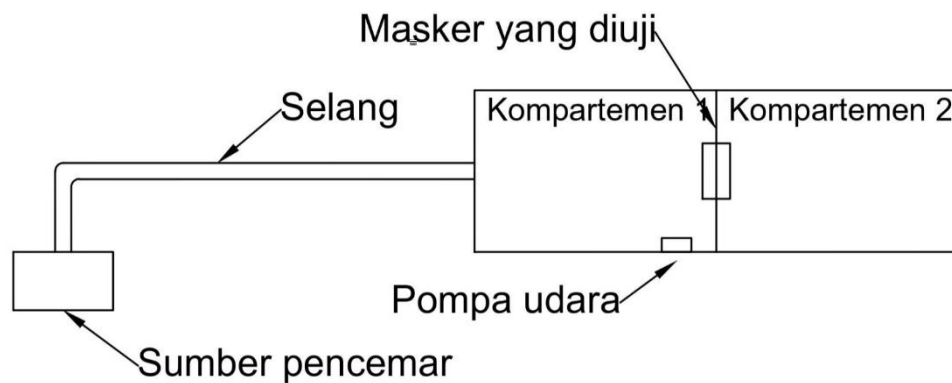
$$\eta = \frac{X_a - X_b}{X_a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

efektivitas (%)

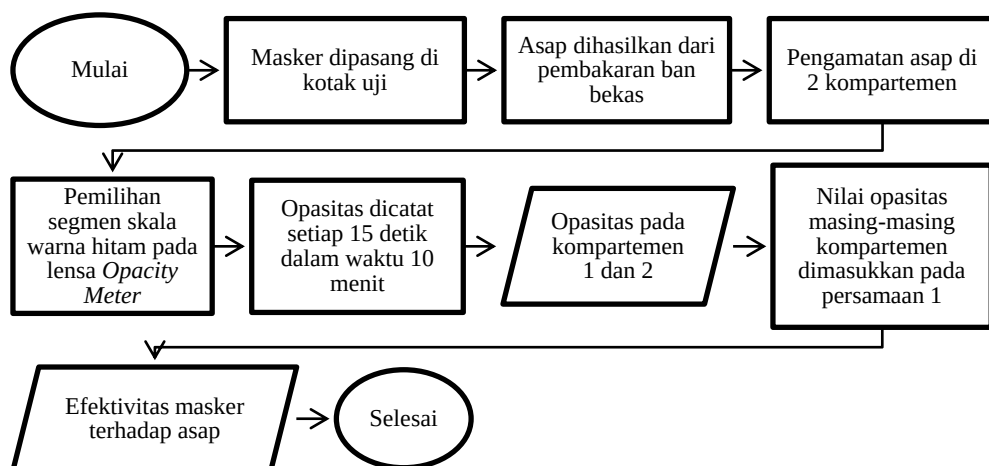
Xa = data hasil pengukuran awal

Xb = data hasil pengukuran akhir



Gambar 6 Skema penentuan efektivitas

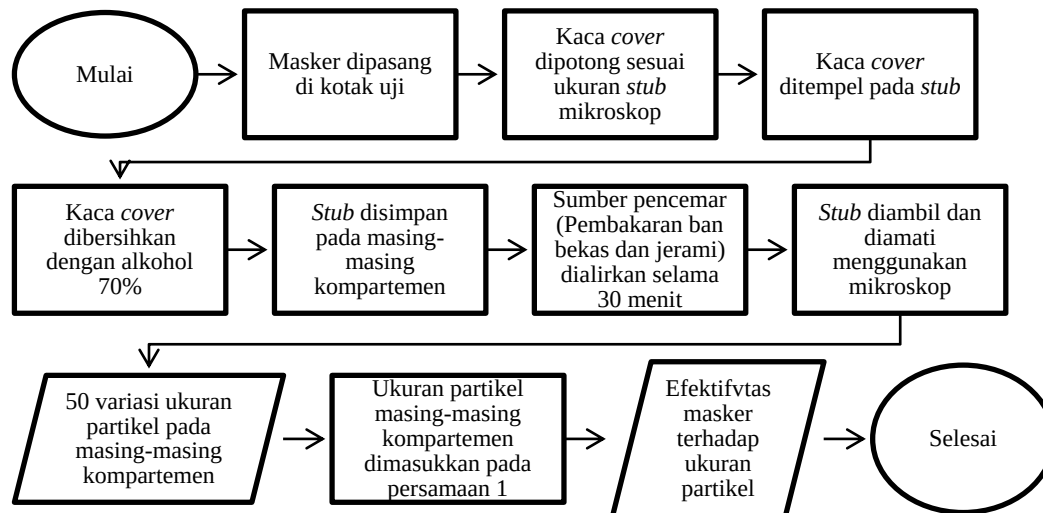
Sumber pencemar yang digunakan dalam pengukuran efektivitas masker terhadap asap adalah pembakaran ban bekas. Hasil pembakaran ban bekas tersebut kemudian disalurkan ke dalam ruang kotak uji masker. Pengukuran opasitas dilakukan menggunakan *Opacity Meter (OM) I model AT-07-1*. *Opacity meter* adalah alat dengan lensa yang mempunyai gradasi warna hitam. Nilai opasitas yang didapatkan kemudian dibanding dengan baku mutu Kepmen LH No.13 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Opasitas Emisi Sumber Tidak Bergerak untuk Jenis Kegiatan Lain. Skema penentuan efektivitas masker terhadap asap disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Skema penentuan efektivitas masker terhadap asap

Pengukuran ukuran partikel menggunakan metode yang dimodifikasi dari penelitian Gunawan (2016). Pengukuran ukuran partikel dilakukan dengan menyimpan *cover glass* di masing-masing kompartemen ruang kotak uji masker selama 30 menit. Sumber pencemar yang digunakan berasal dari hasil pembakaran jerami dan ban bekas. Ukuran partikel yang berhasil melewati masker, selanjutnya dibandingkan dengan standar partikel membahayakan kesehatan yaitu PM_{10} dan $PM_{2.5}$. Pengukuran ukuran partikel masker dilakukan di Ruang *Scanning Electron Microscope (SEM)* LIPI yang beralamat Gedung

Widyasatwaloka, Bidang Zoologi, Pusat Penelitian Biologi-LIPI Jalan Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong. Mikroskop yang digunakan adalah *Scanning Electron Microscope* tipe JSM-IT 200. Berikut skema penentuan efektivitas masker terhadap ukuran partikel disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Skema penentuan efektivitas masker terhadap ukuran partikel

Sumber pencemar yang digunakan pada penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh adalah asap pembakaran knalpot kendaraan bermotor. Penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh menggunakan filter dengan diameter 47 mm, sehingga didapatkan luas penampang filter sebesar 0,0069 m². Konsentrasi debu jatuh dihitung menggunakan persamaan 2 (Azmi 2015). Konsentrasi debu jatuh pada masing-masing kompartemen selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu PP No. 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara. Skema penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh disajikan pada Gambar 9.

$$C = \frac{W}{A} \times \frac{30}{T} \quad (2)$$

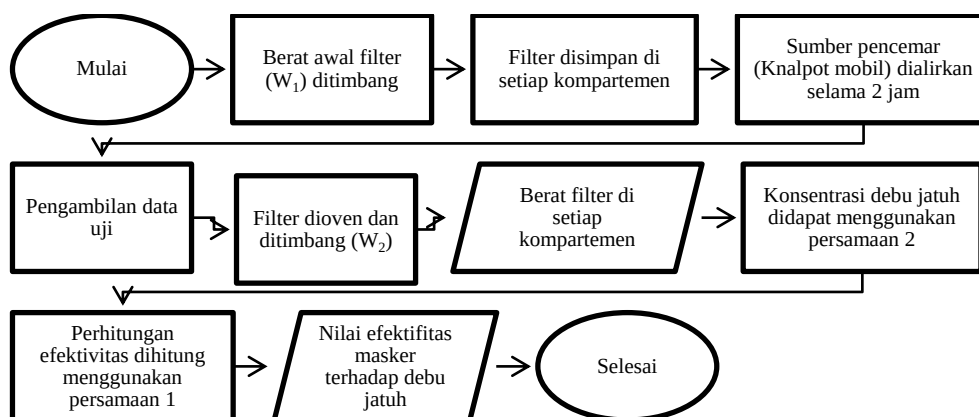
Keterangan :

C : Konsentrasi *dustfall* (g/m²/bulan)

W : berat *dustfall* (g)

A : Luas penampang (m²)

T : Waktu sampling (hari)



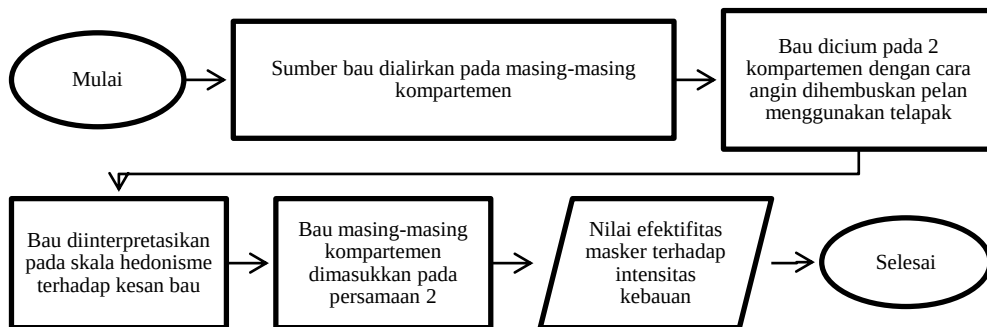
Gambar 9 Skema penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh

Pengukuran efektivitas masker terhadap kebauan menggunakan sumber bau dari sampah rumah tangga. Pengukuran dilakukan menggunakan *odor judge panel* yaitu hidung manusia (Soedomo 2011). Karakteristik bau diterangkan dengan menggunakan deskriptor bau yang dapat diterima oleh indera penciuman manusia. Kemudian karakteristik bau itu dijelaskan dalam skala hedonisme terhadap kesan bau seperti yang diterangkan pada Tabel 4. Anggota penguji dalam mendeteksi bau berjumlah sepuluh orang dengan komposisi lima laki-laki dan lima perempuan. Skema penentuan efektivitas intensitas kebauan disajikan pada Gambar 10.

Tabel 5 Skala hedonisme terhadap kesan bau

Tingkat	Deskriptor
-4	Sangat tidak suka sekali
-3	Sangat tidak suka
-2	Tidak suka
-1	Sedikit tidak suka
0	Netral
1	Sedikit suka
2	Suka
3	Sangat suka
4	Sangat suka sekali

Sumber: Yuwono *et al.* (2015)



Gambar 10 Diagram penentuan efektivitas masker terhadap kebauan

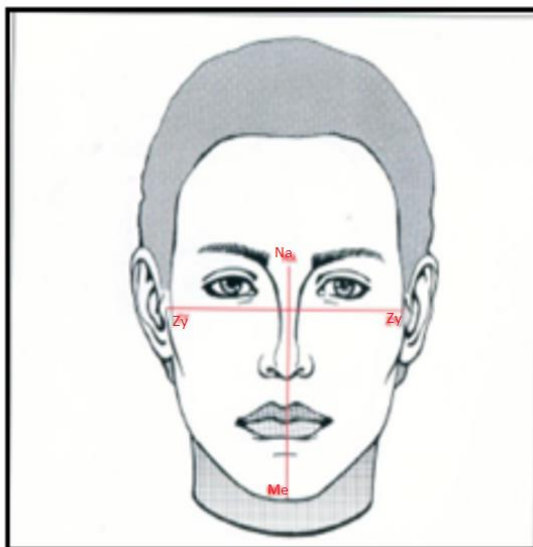
3.3.2 Penentuan parameter kenyamanan masker

Masing-masing tipe wajah memiliki rentang nilai *facial index* yang berbeda. Menurut (Irsa dan Hon 2013) ras Batak, Minang, Bugis, Jawa, dan Melayu mempunyai tipe wajah *europrosopic* dengan rentang *facial index* berkisar antara 80,0 – 84,9. Penentuan kriteria desain masker berdasarkan bentuk wajah masyarakat Indonesia dilakukan dengan mengambil 10 sampel nilai *facial index*. Rata-rata nilai *facial index* digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan dimensi masker. Penentuan tipe wajah dengan *facial index* menggunakan beberapa titik yang harus ditentukan terlebih dahulu. Titik titik tersebut adalah:

- Na (*Soft tissue nasion*), yaitu titik tengah dari pangkal hidung pada sutura *nasofrontal*, yang merupakan aspek paling cekung.
- Me (*Soft tissue menton*), yaitu titik paling bawah dari bagian tengah dagu.
- Zy (*Zygomaticum*), yaitu titik paling pinggir pada setiap lengkung *zygomaticum*.

Titik-titik pada pengukuran *facial index* ini dijelaskan pada Gambar 11. Pengukuran *facial index* ditentukan menggunakan persamaan 3 yang diperkenalkan oleh Van Blarcom (2005).

$$Facial\ Index = \frac{Tinggi\ Wajah\ (Na-Me)}{Lebar\ Wajah\ (Zy-Zy)} \times 100 \quad (3)$$



Gambar 11 Titik-titik pengukuran tipe wajah (Rahn 2009)

Penentuan dimensi masker berdasarkan nilai rata-rata *facial index* dan penambahan kawat lunak sebagai kerangka masker diharapkan mampu memberikan kenyamanan pada masker. Pengukuran parameter kenyamanan dilakukan dengan metode uji skoring. Menurut Karatika *et al.* (1988), dalam uji skoring panelis diminta untuk menilai penampilan produk berdasarkan sifat yang dinilai. Pada tes ini, panelis diminta untuk memberikan nilai seberapa besar kesukaanya pada suatu produk melalui skala hedonik terhadap kenyamanan. Menurut Lawless *et al* (1999), skala hedonik terdiri dari 9 angka yang menyatakan tingkat kesukaan atau ketidaksukaan panelis terhadap sifat produk yang digunakan. Sifat produk yang dinilai meliputi kemudahan bernapas dan kemampuan masker melekat dengan baik pada wajah. Skala hedonik kenyamanan masker disajikan pada Tabel 5.

Tabel 6 Skala hedonisme terhadap kenyamanan

Tingkat	Deskriptor
-4	Sangat tidak nyaman sekali
-3	Sangat tidak nyaman
-2	Tidak nyaman
-1	Sedikit tidak nyaman
0	Netral
1	Sedikit nyaman
2	Nyaman
3	Sangat nyaman
4	Sangat nyaman sekali

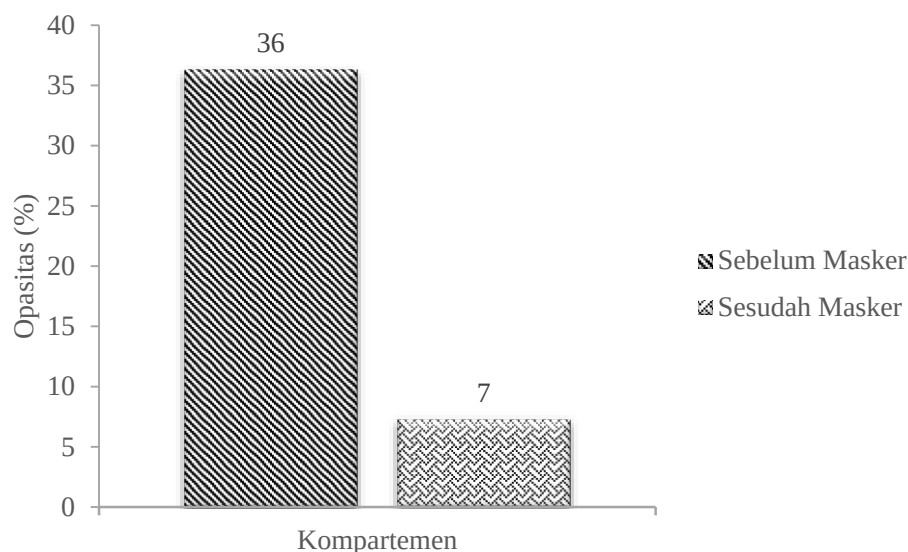
IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan masker berpengaruh terhadap saluran pernapasan dan gangguan fungsi paru, karena masker dapat menghalangi partikel udara yang dihirup. Pembahasan pada penelitian meliputi efektivitas masker dan kenyamanan masker. Penentuan efektivitas masker dilakukan terhadap parameter pencemaran udara hasil industri. Parameter pencemar yang dibahas meliputi asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan. Penentuan kenyamanan masker didasarkan pada tipe wajah masyarakat Indonesia. Tipe wajah tersebut dijadikan acuan dalam penentuan dimensi masker.

4.1 Efektivitas Masker

4.1.1 Efektivitas masker terhadap asap

Pengukuran masker terhadap parameter asap menghasilkan nilai opasitas yang bervariasi antara dua kompartemen ruang kotak uji masker. Kompartemen A pada ruang kotak uji masker menunjukkan nilai opasitas asap sebelum melewati masker. Kompartemen lainnya adalah kompartemen B menunjukkan nilai opasitas asap setelah melewati masker. Hasil pengukuran opasitas asap pada masing-masing kompartemen disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12 Opasitas asap sebelum dan sesudah melewati masker

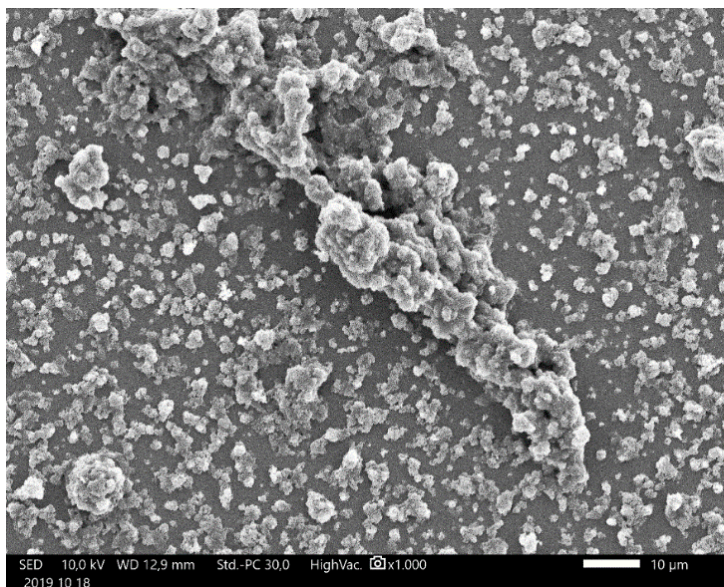
Pada kompartemen sebelum melewati masker nilai opasitas asap yang didapat berkisar antara 20% hingga 60% dengan nilai rata-rata opasitas asap yaitu 36%. Pada kompartemen lainnya, yaitu kompartemen sesudah melewati masker didapatkan nilai opasitas asap berkisar antara 0% hingga 10% dengan nilai rata-rata opasitas asap mencapai 7%. Penelitian yang dilakukan Gunawan (2016) terhadap 7 masker bahan *non woven* yang beredar di pasaran menunjukkan nilai rata-rata opasitas asap setelah melewati masker berkisar antara 1-15%. Masker dengan penambahan filter PM_{2.5} memiliki nilai opasitas sesudah melewati lebih kecil dibanding nilai opasitas masker di pasaran.

Menurut Kepmen LH No.13 Tahun 1995 tentang baku mutu Opasitas Emisi Sumber Tidak Bergerak Untuk Jenis Kegiatan Lain, nilai baku mutunya adalah sebesar 35 %. Nilai opasitas asap sebelum melewati masker masih berada diatas nilai baku mutu yang ditetapkan. Sesudah melewati masker nilai opasitas asap dibawah baku mutu yang ditetapkan. Efektivitas masker terhadap parameter asap mencapai nilai 80%. Nilai efektivitas ini lebih tinggi dibandingkan nilai efektivitas masker di pasaran. Menurut Gunawan (2016) masker di pasaran memiliki nilai rata-rata efektivitas sebesar 77% untuk mereduksi asap.

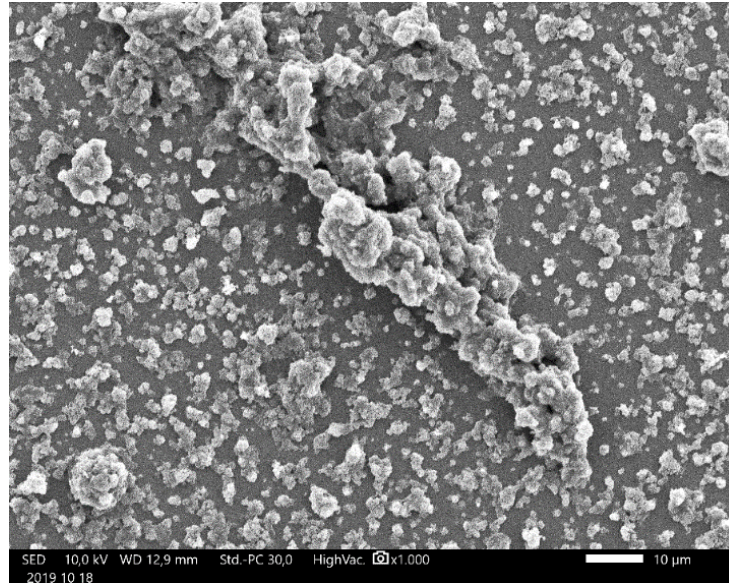
Asap merupakan perpaduan atau campuran karbon dioksida, air, zat yang berdifusi di udara, zat partikulat, hidrokarbon, zat kimia organik, nitrogen oksida, dan mineral (Jessica 2017). Tingkat kepekatan asap sering juga disebut sebagai opasitas. Tingkat kepekatan asap dan komposisi asap tergantung dari banyak faktor, yaitu jenis bahan yang dibakar, kelembaban, temperatur api, dan kondisi angin (Keeratiurai 2016). Kandungan partikel debu dan opasitas yang tinggi dalam udara merupakan indikator penting yang wajib diperhatikan, dikarenakan dapat mengganggu dan meresahkan kesehatan manusia. Menurut Syahputra (2016) dampak asap dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma bronkial, bronkhitis, *pneumonia* (radang paru), iritasi mata dan kulit.

4.1.2 Efektivitas masker terhadap ukuran partikel

Terdapat dua hal yang dibahas dalam penentuan efektivitas masker terhadap ukuran partikel, yaitu ukuran partikel pada masing-masing kompartemen dan efektivitas masker terhadap ukuran partikel. Ukuran partikel diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Pengukuran menggunakan mikroskop untuk memperoleh citra atau pencitraan yang besar dari objek yang sangat kecil (Puriwigati 2010). Hasil potret ukuran partikel disajikan pada Gambar 13 dan 14.

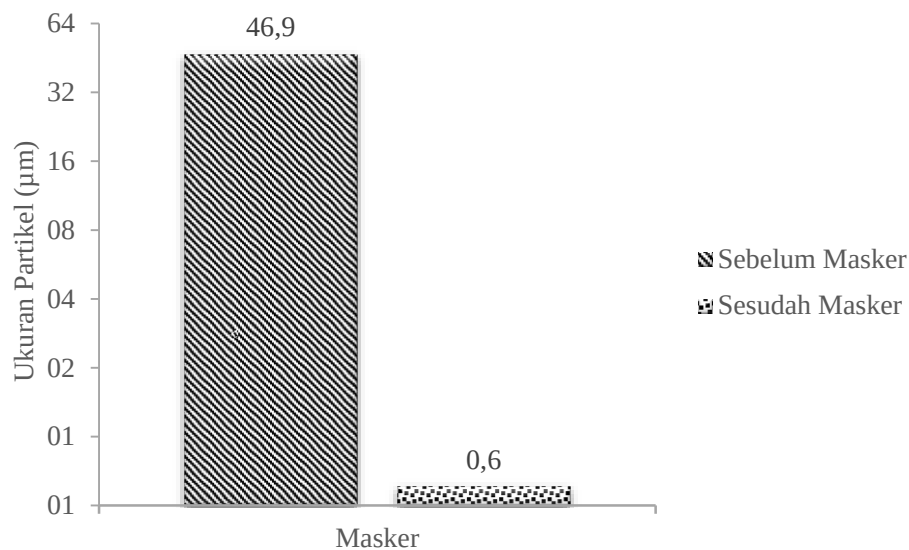


Gambar 13 Potret partikel sebelum melewati masker



Gambar 14 Potret partikel sesudah melewati masker

Pengukuran dilakukan pada dua kompartemen ruang kotak uji masker. Kompartemen A adalah kompartemen sebelum melewati masker, sedangkan kompartemen B adalah kompartemen sesudah melewati masker. Ukuran partikel pada penentuan efektivitas masker disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15 Rata-rata ukuran partikel sebelum dan sesudah melewati masker

Ukuran rata-rata partikel yang berada di kompartemen sebelum melewati masker adalah sebesar 46,9 µm dengan rentang antara 12,5 µm hingga 127,2 µm. Pada kompartemen lainnya yaitu kompartemen sesudah melewati masker nilai rata-rata ukuran partikel adalah sebesar 0,6 µm dengan rentang berkisar antara 0,1 µm hingga 2,4 µm. Pada penelitian Gunawan (2016) rata-rata ukuran partikel yang dapat melewati masker di pasaran berkisar antara 6,0 – 10,0 µm. Jika dibandingkan dengan masker di pasaran, ukuran partikel yang dapat melewati

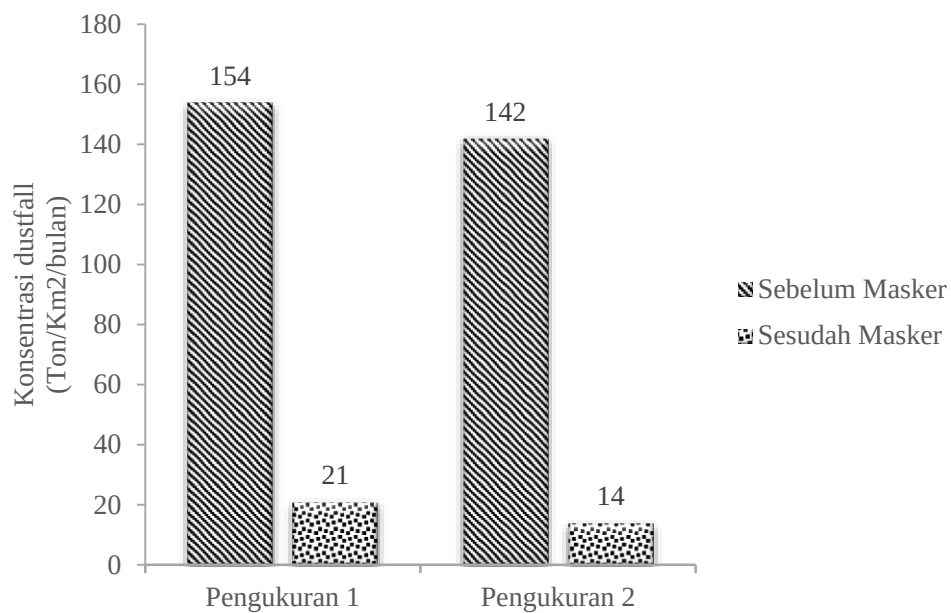
masker pada pengukuran ini lebih kecil. Penambahan filter PM_{2.5} memberikan hasil yang baik dalam memperkecil ukuran partikel yang dapat melewati masker.

Para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat meyakini bahwa partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter antara 10 µm dan 2,5 µm merupakan pemicu timbulnya infeksi pernapasan. Hal ini terjadi karena partikel padat yang berukuran antara 10 µm dan 2,5 µm dapat mengendap pada saluran pernapasan daerah bronkus dan alveolus sehingga menurunkan pertukaran gas. Berdasarkan pengukuran, ukuran partikel yang dapat melewati masker memiliki ukuran kurang dari 2,5 µm. Hal ini menunjukkan bahwa masker pada pengukuran ini dapat menyaring partikel berbahaya yang memiliki diameter berkisar antara 10 µm sampai 2,5 µm.

Efektivitas masker terhadap ukuran partikel adalah 99%. Efektivitas ini lebih tinggi dibandingkan nilai efektivitas masker di pasaran. Rata rata efektivitas masker di pasaran terhadap ukuran partikel adalah sebesar 57% (Gunawan 2016). Menurut Sivaramasundaram dan Muthusubramanian (2010), tingginya paparan akibat partikulat menimbulkan resiko yang tinggi juga terhadap kanker paru-paru. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikulat debu yang melayang dan berterbangan dibawa angin akan menyebabkan iritasi pada mata dan dapat menghalangi daya tembus pandang mata (*visibility*).

4.1.3 Efektivitas masker terhadap debu jatuh

Penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh bertujuan mengetahui seberapa efektif masker mengurangi konsentrasi debu jatuh. Pada penentuan efektivitas masker terhadap debu jatuh juga dibahas mengenai konsentrasi debu jatuh sebelum dan sesudah melewati masker. Konsentrasi debu jatuh pada kompartemen A merupakan konsentrasi debu jatuh sebelum melewati masker. Sedangkan konsentrasi debu jatuh pada kompartemen B adalah konsentrasi debu jatuh sesudah melewati masker. Konsentrasi debu jatuh pada pengukuran ini disajikan pada Gambar 16.



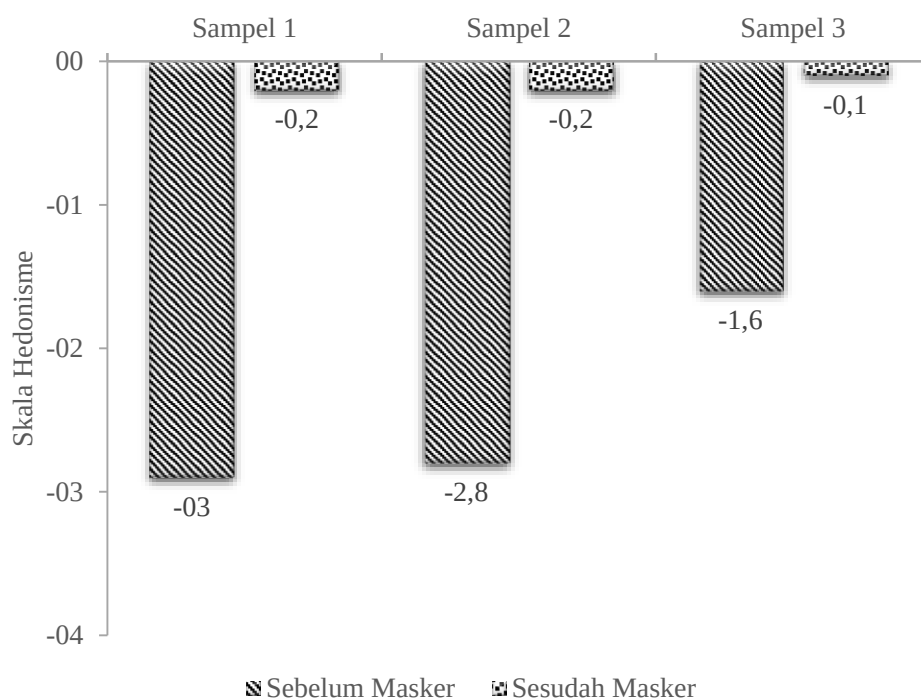
Gambar 16 Konsentrasi debu sebelum dan sesudah melewati masker

Pengukuran pada kompartemen sebelum melewati masker didapatkan nilai konsentrasi debu jatuh sebesar 154 Ton/km²/Bulan dan 142 Ton/km²/Bulan untuk masing-masing pengukuran. Pengukuran pada kompartemen sesudah melewati masker didapatkan nilai konsentrasi debu jatuh sebesar 21 Ton/km²/Bulan dan 14 Ton/km²/Bulan untuk setiap pengukuran. Menurut PP No.41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Baku mutu Udara Ambien terhadap parameter debu jatuh adalah 10 Ton/km²/Bulan untuk daerah pemukiman. Konsentrasi debu jatuh yang didapat dari kedua kompartemen masih diatas nilai baku mutu. Efektivitas masker terhadap debu jatuh pada pengukuran ini adalah sebesar 88 %. Efektivitas tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan efektivitas masker di pasaran dalam mereduksi konsentrasi debu jatuh. Efektivitas rata-rata masker di pasaran memiliki nilai sebesar 22 % (Gunawan 2016).

Menurut Weiringa *et al.* (1997) debu jatuh merupakan salah satu bentuk pencemaran udara primer yang terdiri dari material yang kompleks dengan komposisi yang konstan dan konsentrasi logam berat di dalamnya sangat bervariasi. Besaran debu di udara sangat mempengaruhi keberadaannya di udara, semakin kecil diameter debu maka keberadaannya di udara semakin lama dan penyebarannya semakin luas (Balmes and Tager 2000). Mekanisme masuknya partikel debu jatuh secara akut menyebabkan iritasi bronkhial, peningkatan reaktivitas paru-paru, dan menekan imunitas lokal. Menurut Samet *et al.* (2000), efek potensial terhadap kesehatan menyebabkan sesak napas, asma yang kambuhan, infeksi saluran pernapasan, dan bronkhitis kronis. Konsentrasi debu jatuh di udara perlu diperhatikan, sebab semakin tinggi konsentrasi debu jatuh di udara maka tingkat kualitas udara di daerah tersebut dapat dinyatakan dalam kondisi berbahaya. Apabila debu jatuh masuk dalam sistem pernapasan manusia dapat menyebabkan sesak napas dan gangguan kesehatan lainnya. Bagi tanaman, debu jatuh dalam konsentrasi tinggi dapat membuat proses fotosintesis menjadi terganggu hingga menyebabkan kematian.

4.1.4 Efektivitas masker terhadap kebauan

Penentuan efektivitas masker terhadap kebauan membahas perbandingan antara intensitas kebauan yang tercium pada dua kompartemen ruang kotak uji masker. Kompartemen A adalah kompartemen sebelum melewati masker, sedangkan kompartemen B adalah kompartemen sesudah melewati masker. Dalam pengukuran didapat nilai yang variatif terhadap masing-masing sumber bau. Hasil pengukuran ini disajikan seperti pada Gambar 17.



Gambar 17 Nilai bau sebelum dan sesudah melewati masker

Pada kompartemen sebelum melewati masker rentang nilai hedonisme berkisar -4 hingga -1. Hal ini dapat didefinisikan bahwa pada kompartemen sebelum melewati masker, bau yang tercium mempunyai dekripsi bau antara sangat tidak suka sekali hingga sedikit tidak suka. Pengukuran bau pada kompartemen sesudah melewati masker didapatkan kisaran nilai hedonisme yaitu -1 sampai dengan 0. Hal ini didefinisikan bahwa pada kompartemen sesudah melewati masker bau yang tercium mempunyai deskripsi bau berkisar antara sedikit tidak suka hingga netral. Nilai efektivitas masker terhadap kebauan menunjukkan angka sebesar 93 %. Pada penelitian Gunawan (2916), efektivitas masker di pasaran terhadap kebauan memiliki efektivitas sebesar 77%. Jika membandingkan efektivitas masker dalam penelitian dan masker di pasaran terhadap bau, maka efektivitas masker pada pengujian ini memiliki nilai yang lebih tinggi.

Apabila manusia menghirup udara yang mengandung pencemar fisik kebauan, maka akan dapat menimbulkan dampak yang merugikan terhadap kesehatan. Dampak kesehatan bagi manusia dapat berbeda-beda. Pada kasus

manusia yang bekerja di pengelolaan sampah atau industri-industri karet dan sejenisnya dapat mengalami adaptasi sehingga dampaknya berkurang. Sebaliknya pada manusia yang belum beradaptasi dampak kesehatan dapat lebih buruk. Dampak kesehatan akibat kebauan biasanya dapat menyebabkan gangguan psikologis dan iritasi saluran pernapasan apabila sumber bau berasal dari parameter kebauan seperti gas H_2S atau NH_3 .

4.2 Penentuan Parameter Kenyamanan Masker

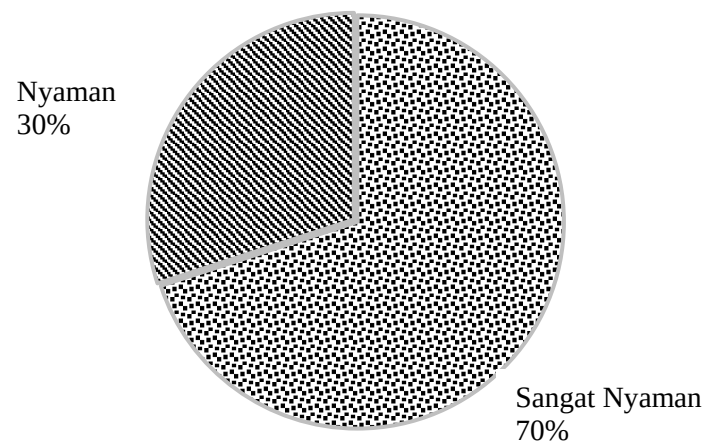
Penentuan bentuk wajah diperlukan sebagai pertimbangan dalam menentukan dimensi lebar dan tinggi masker. Penentuan bentuk wajah didapat dengan menentukan *facial index* terhadap sepuluh panelis orang Indonesia. Nilai *facial index* terhadap sepuluh sampel disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Analisis *facial index* dan tipe wajah panelis

Data Responden			Faktor Facial Index			Tipe Wajah
Nama	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)	N'-Me (cm)	Zy-Zy (cm)	Facial Index	
Jundi	Laki-laki	28	14.0	17.0	82.4	<i>Europrosopic</i>
Lusi	Laki-laki	39	13.0	16.0	81.3	<i>Europrosopic</i>
Aqil	Laki-laki	21	14.0	17.5	80.0	<i>Europrosopic</i>
Dirghom Daffa	Laki-laki	17	14.0	17.0	82.4	<i>Europrosopic</i>
Sukma Firdaus	Laki-laki	17	13.5	16.5	81.8	<i>Europrosopic</i>
Rahmawati	Perempuan	35	12.0	15.0	80.0	<i>Europrosopic</i>
Adhiba	Perempuan	21	11.5	14.0	82.1	<i>Europrosopic</i>
Emma Siti	Perempuan	30	12.0	15.0	80.0	<i>Europrosopic</i>
Salimatusadiah	Perempuan	28	12.0	15.0	80.0	<i>Europrosopic</i>
Diva	Perempuan	17	12.0	15.0	80.0	<i>Europrosopic</i>

Hasil pengukuran tipe wajah terhadap sepuluh panelis didapatkan bahwa keseluruhan sampel termasuk pada tipe wajah *europrosopic*. Hal ini didukung dengan pernyataan bahwa kebanyakan ras Batak, Minang, Melayu, Bugis, Jawa, dan Melayu termasuk dalam tipe *europrosopic* (Irsa dan Hon 2013). Berdasarkan pengukuran *facial index* didapat bahwa sepuluh panelis mempunyai nilai rata-rata *facial index* sebesar 81,0 dengan rentang berkisar antara 80,0 hingga 82,4. Rata-rata tinggi wajah dan lebar wajah berdasarkan sepuluh panelis tipe wajah *euprosopic* adalah 12,8 cm dan 15,8 cm. Nilai rata-rata tinggi wajah dan lebar wajah tersebut dijadikan acuan dalam penentuan dimensi masker. Dimensi masker yang digunakan dalam penentuan kenyamanan masker adalah tinggi 13 cm dan lebar 16 cm.

Penambahan kawat lunak sebagai kerangka masker ditujukan supaya masker dapat melekat dengan baik pada wajah. Penentuan kenyamanan dilakukan dengan menggunakan metode skoring terhadap skala hedonik kenyamanan. Atribut dalam penilaian kenyamanan meliputi kemudahan bernapas saat masker digunakan dan kemampuan masker melekat dengan baik pada wajah. Hasil skoring terhadap skala hedonik kenyamanan disajikan dalam Gambar 18. Berdasarkan hasil pengukuran didapat bahwa 70% panelis memberikan skala hedonik sangat nyaman, sedangkan 30% panelis memberikan skala hedonik nyaman.



Gambar 18 Tingkat kenyamanan masker

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian didapatkan kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Penambahan filter $PM_{2.5}$ sebagai salah satu lapisan masker dapat meningkatkan efektivitas masker. Rata-rata efektivitas masker terhadap parameter pencemar udara hasil industri adalah sebesar 90%. Efektivitas masker terhadap asap adalah sebesar 80%, efektivitas masker terhadap ukuran partikel adalah sebesar 99%, efektivitas masker terhadap debu jatuh adalah sebesar 88%, dan efektivitas masker terhadap kebauan mencapai 93%. Efektivitas rata-rata masker di pasaran terhadap asap, ukuran partikel, debu jatuh, dan kebauan adalah 58%.
2. Penentuan dimensi masker berdasarkan nilai *facial index* dan penambahan kawat lunak memberikan pengaruh pada pengukuran kenyamanan masker. Skala hedonik kenyamanan masker berdasarkan bentuk wajah adalah 70% nyaman sekali dan 30% nyaman.

5.2 Saran

Saran yang diperoleh dari penelitian ini antara lain adalah perlunya penambahan filter $PM_{2.5}$ sebagai salah satu lapisan masker. Hal ini didasarkan karena penambahan filter $PM_{2.5}$ dapat meningkatkan efektivitas masker terhadap parameter pencemar hasil industri dibanding dengan efektivitas masker di pasaran tanpa filter $PM_{2.5}$. Selain itu perlu dilakukan penambahan parameter kenyamanan berdasarkan bentuk wajah sebagai salah satu kriteria dalam pembuatan masker sehingga dapat mengatasi masalah masker dalam aplikasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi F. 2011. *Dasar-Dasar Penyakit berbasis Lingkungan*. Jakarta (ID): PT. Raja Grafindo Persada.
- Ardhana W. 2009. *Materi Kuliah Ortodonis I: Prosedur Pemeriksaan Ortodontik*. Yogyakarta (ID): UGM Press.
- Azmi A. 2015. Analisis bangkitan debu jatuh dari tanah regosol di Pulau Jawa. [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2018. *Spesifikasi Standar untuk Kinerja Material yang digunakan dalam Masker Medis. (SNI 8488-2018)*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Balmes R, Tager I. 2000. *Air Pollution*. In: Murray JF, Nadel JA, eds. *Textbook of Respiratory Medicine*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Co.
- Baral P. 2010. An anthropometric study of facial height among four endogamous communities in the Sunsari district of Nepal. *Singapore Medical Journal*. 51(3):212-215.
- Barman SC. 2010. Assessment of urban air pollution and it's probable health impact. *Journal of Environmental Biology*. 31(6): 913-920.
- Buckle P. 2005 *Ergonomics and Musculoskeletal Disorders: Overview, Occupational Medicine*. Oxford (UK): Oxford University Press.
- Budiharjo H. 1991. *Pencemaran Udara di DKI Jakarta Paru*. Jakarta (ID): Jakarta Press.
- Budiyono A. 2001. Pencemaran udara: dampak pencemaran udara pada lingkungan. *Berita Dirgantara*. 2(1): 21-27.
- Bunawas, Ruslanto OP, Sur TA, Yumiarti, editor. 1999. Partikel Debu Anorganik: Komposisi, Diameter, Pengendapan di Saluran Pernapasan dan Efek terhadap Kesehatan. Prosiding Seminar Nasional Kimia Organik I; 24 Agustus 1999; Surabaya, Indonesia. Surabaya: ITS-Proceeding. hlm 51-59.
- Davies A .2013. Testing the efficacy of homemade masks. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 23(4):127-132.
- Dewi F, Gayuh U. 2012. Pengaruh kecepatan dan arah aliran udara terhadap kondisi udara dalam ruangan pada sistem ventilasi alamiah. *Jurnal Rekayasa Mesin*.3(2): 299-304.
- Egondi T. 2013. Community perceptions of air pollution and related health risk in nairobi slums. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 10(1): 4851-4868. doi: 10.3390/ijerph10104851.
- Faisal F, Faisal Y, Fachrial H. 2012. Dampak asap kebakaran hutan pada pernapasan. *CDK-189*. 39 (1): 30-34.
- Ferdousi MA. 2013. Angular photogrammetric analysis of the facial profile of adult Bangladeshi Garo. *Advances in Anthropology*. 3(4):188-192.
- Gavriel S. 2001. *Handbook of Industrial Engineering Technology and Operations Management*. Canada: Institute of Industrial Engineers Press.
- Gilmore EA. 2010. The air quality and human health effects of integrating utility-scale batteries into the New York state electricity grid. *Journal of Power Sources*. 195(8): 2405-2413.
- Godish T. 2004. *Air Quality 4th ed*. Indiana (US): Lewis Publisher.

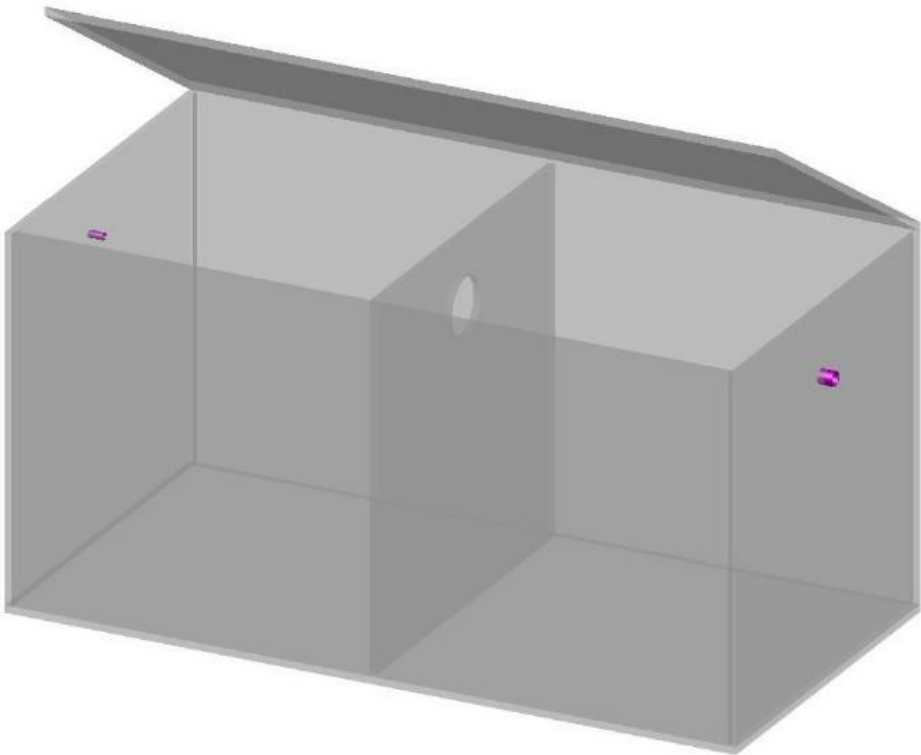
- Gunawan AG. 2016. Analisis efektivitas masker dalam menyaring asap, total suspended particulate, debu jatuh, dan intensitas kebauan [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hall AW. 2002. Valuing the health benefits of clean air. *Science*. 225(5046): 812-817. doi:10.1126/science.1536006.
- Irsa R, Hon D. 2013. *Variasi Kefalometri pada Beberapa Suku di Sumatera Barat*. Padang (ID): Universitas Andalas Press.
- Jenko Z. 2012. The Effects of particulate matter air pollution on respiratory health and on the cardiovascular system. *Slovenian Journal of Public Health*. 51(3): 190-199. doi: 10.247/v10152-012-0022z.
- Jeremic D, Kocic S, Vulovic M, Jovanovic B, Milanovic Z, Donovic N. 2013. Anthropometric study of facial index in the population of central Serbia. *Arch Biol Sci*. 65(3): 1163-1167.
- Jessica L. 2017. Mitochondrial toxicity of tobacco smoke and air pollution. *Toxicology Journal*. 391(1): 18-33. doi: 10.1016/j.tox.2017.08.002.
- Kampa M. 2008. Human health effects of air pollution. *ScienceDirect Environmental Pollution*. 151(2): 362-367.
- Karatika B, Hastuti P, Supartono W. 1988. *Pedoman Uji Inderawi Bahan Pangan*. Yogyakarta (ID): UGM Press.
- Keeratiurai P. 2016. Comparison of efficiency to the air pollution control system from the solid waste incineration. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11(13): 8073-8079.
- [Kemenkes] Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2002. *Keputusan Menteri Kesehatan Nomor: 1407/MENKES/SK/XI/2002 tentang Pedoman Pengendalian Dampak Pencemaran Udara*. Jakarta : Kemenkes.
- [KemenLH] Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 1998. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-02/MENLH/11/1998 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Jakarta: KemenLH.
- [KemenLH] Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 1996. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 50/MENLH/11/1996 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak*. Jakarta: KemenLH.
- [KemenLH] Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 1995. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: 13/MENLH/3/1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak*. Jakarta: KemenLH.
- Kurniawan A, Yuwono AS, Fatimah R. 2014. *Teknik Pengelolaan Kualitas Udara*. Bogor (ID): IPB Press.
- Lawless HT, Heyman H. 1999. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. New York (US): Aspen Publisher.
- Loomis D, Huang W, Chen G. 2014. The international agency for research on cancer (IARC) evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution: focus on China. *Chin J Cancer*. 33(4): 189-196. doi: 10.5732/cjc.014.10028.
- Mannuccio P. 2017. Health effects of ambient air pollution in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 14(1048): 1-8. doi: 10.3390/ijerph14091048.
- Manuaba A, Wignyosubroto S, Wiranto SE, editor. 2000. *Ergonomi, Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Proceeding Seminar Nasional Ergonomi 2000; 4 Januari 200; Surabaya. Surabaya: Guna Wijaya. hlm 1-4.

- Mukono H. 2002. *Epidemiologi Lingkungan*. Surabaya (ID): Universitas Airlangga Press.
- Nagar JK, Alkohar AB, Kumar R. 2014. A review on airborne particulate matter and its sources, chemical composition and impact on human respiratory system. *International Journal of Environmental Science*. 5(2): 447-463.
- Nurmianto E. 1998 *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Surabaya (ID): Prima Printing.
- Prendergast PM. 2012. Orthodontic part 2: facial proportions. *BDJ*. 195(9):489-492.
- [PRI] Pemerintah Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [PRI] 1999. Peraturan Pemerintah RI No. 41. Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Puriwigati A. 2010. Rancang bangun dan uji unjuk kerja alat pengukur total suspended particulate (TSP) dengan metode high volume air sampling. [disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor Press.
- Rahn A. 2009. *Textbook of Complete Denture 6th Edition*. USA: people's Medical Publishing House.
- Rai R. 2011. Impact of air pollution on public health. *Journal of Scientific Research Banaras Hindu University*. 55(1): 77-102.
- Ramadhan S. 2013. Desain masker dengan anthropometri di PT Jafa Comfeed Indonesia TBK SBU Surabaya. *Jurnal Teknik Industri UNTAG*. 2(1): 1-14.
- Ratnani R. 2008. Teknik pengendalian pencemaran udara. *Momentum*. 4(2): 27-32.
- Rengasamsy S. 2009. Filtration performance of FDA-cleared surgical masks. *Journal International Society Respiratory Protection*. 26(2): 54-70.
- Sakawi ZL. 2015. Managing odour pollution from livestock sources in Malaysia. *Malaysian Journal of Society and Space*. 11(13): 96-103.
- Sari R. 2013. Faktor yang berhubungan dengan kapasitas vital paru pada pedagang kaki lima Terminal Induk Kabupaten Pemalang [skripsi]. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.
- Samet J M, Dominici F, Curriero FC. 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994. *New England Journal of Medicine*. 343(24): 1742-1749.
- Shusterman, D. 2010. The health significance of environmental odour pollution. *Archive of Environmental Health: An Environmental Journal*. 47(1): 60-72.
- Sivaramasundaram K, Muthusubramanian P. 2010. A preliminary assessment of PM(10) and TSP concentrations in Tuticorin, India. *Air Qual Atmos Health*. 3(2): 95-102. doi: 10.1007/s11869-009-0055x.
- Soedomo M. 2011. *Pencemaran Udara (Kumpulan Karya Ilmiah)*. Bandung (ID): Institut Teknologi Bandung Press.
- Stansfeld S. 2015. Noise effects on health in the context of air pollution exposure. *Int J. Environ. Res. Public Health*. 12(1): 12735-12760. doi: 10.3390/ijerph121012735.
- Suma'mur P. 2009. *Higiene Perusahaan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta (ID): Gunung Agung.
- Syahputra A. 2016. Pengaruh asap terhadap kesehatan manusia di 50 Kota. *Jurnal Nasional Ecopedon*. 3(1): 59-64.

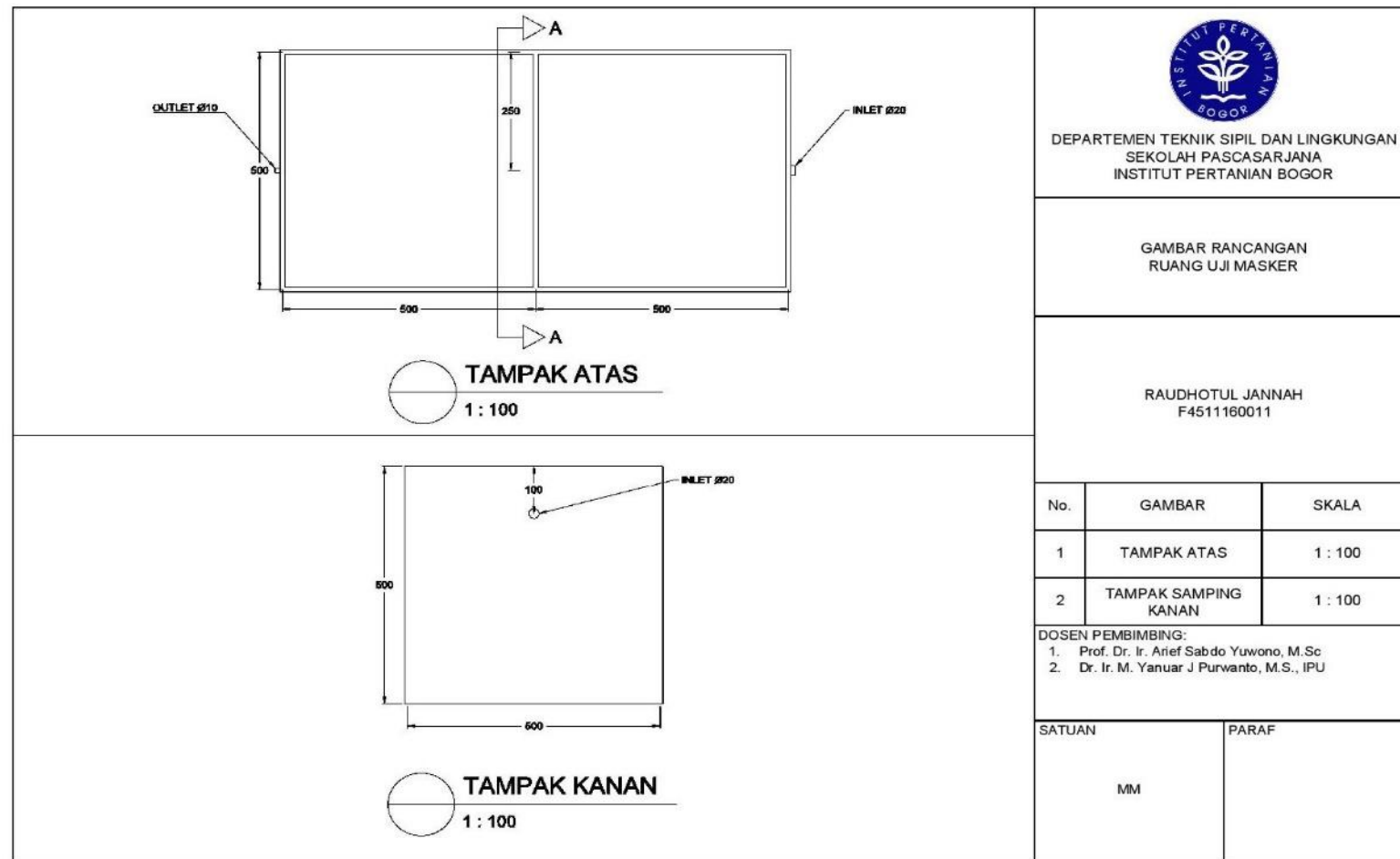
- Tarwaka. 2010. *Dasar-Dasar Pengetahuan Ergonomi dan Aplikasi di Tempat Kerja*. Surakarta (ID): Harapan Press.
- Van Blarcom. 2005. Glossary of Prosthodontic Terms 8th edition. *J Prosthet Dent*. 94(1):1-85
- Wardhana W. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Andi Offset.
- Weiringa MH, Weyler JJ, Bastelaer VFJ, Nelen VJ, Sprundel VMP, Vermiere PA. 1997. Higher asthma occurrence in an urban than a suburban area: role of house dust mite skin allergy. *Eur Respiration Journal*. 10(3): 1460-1466. doi:10.1183/09031936.97.1007146.
- Wignojosoebroto. 2007. *Pengantar Teknik Industri*. Jakarta (ID): Guna Widya.
- Yuwono AS, Fatimah R., Kurniawan A, & Yusuf A. 2015. *Pengelolaan Kualitas Udara dan Kebisingan*. Bogor (ID): IPB Press.
- Zhao Y, Shi D. 2012. Analysis of total suspended particulate pollution along Shanghai-Nanjing expressway. *Open Journal of Air Pollution* (1): 31-36.

LAMPIRAN

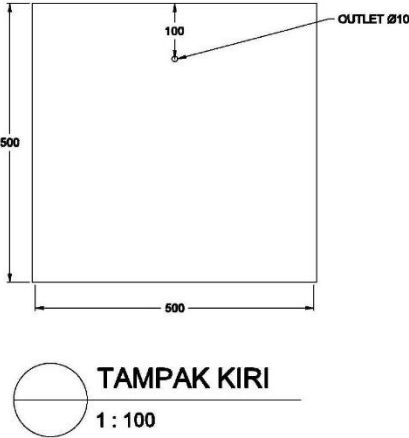
Lampiran 1 Ruang kotak uji masker

				
			DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN SEKOLAH PASCASARJANA INSTITUT PERTANIAN BOGOR	
			GAMBAR RANCANGAN RUANG UJI MASKER	
			RAUDHOTUL JANNAH F4511160011	
			No.	GAMBAR
1	GAMBAR 3D			
2				
DOSEN PEMBIMBING:			1. Prof. Dr. Ir. Arief Sabdo Yuwono, M.Sc 2. Dr. Ir. M. Yanuar J Purwanto, M.S., IPU	
SATUAN		PARAF		
MM				

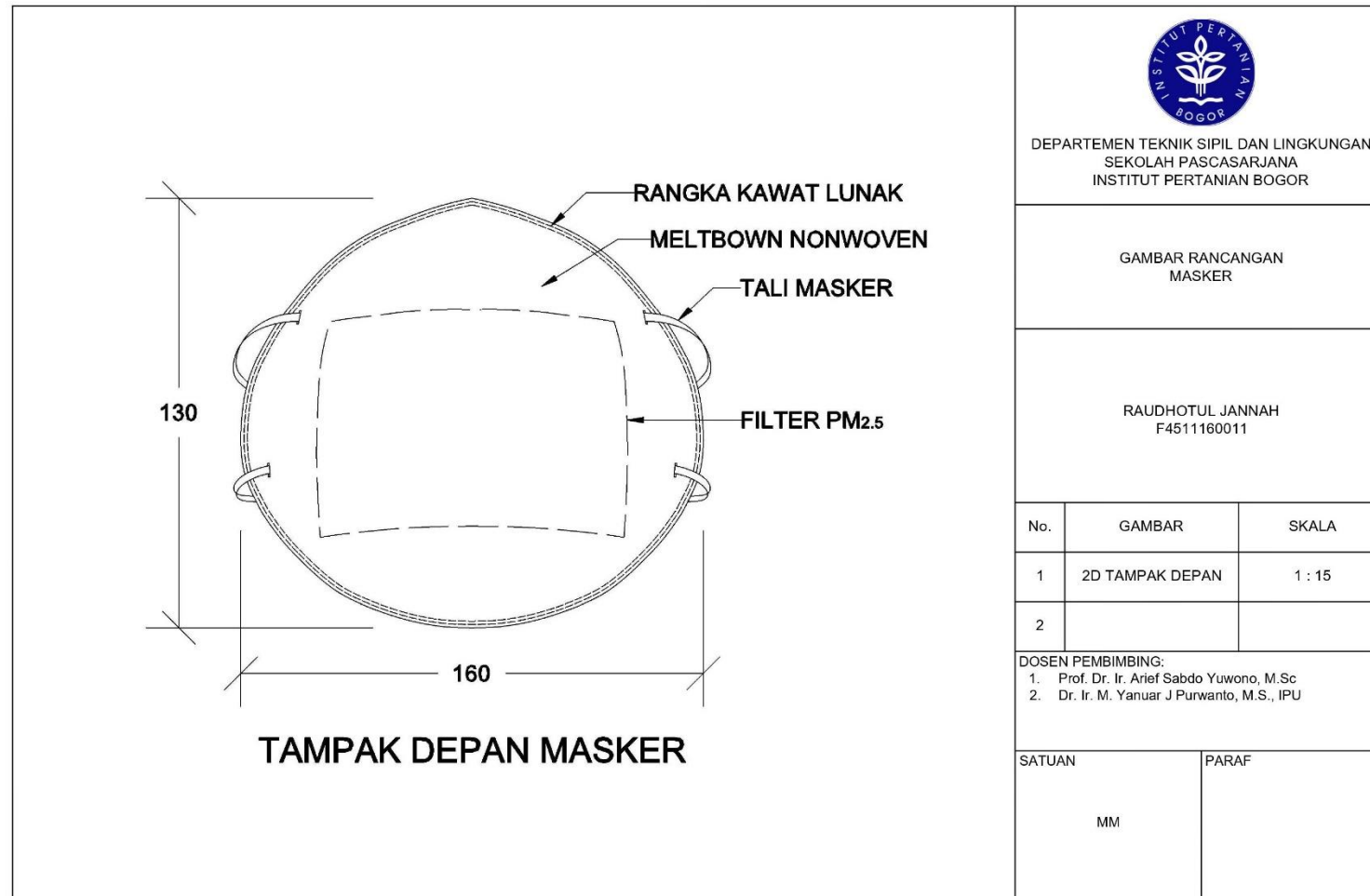
Lampiran 2 Lanjutan



Lampiran 3 Lanjutan

 TAMPAK KIRI 1 : 100	 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN SEKOLAH PASCASARJANA INSTITUT PERTANIAN BOGOR GAMBAR RANCANGAN RUANG UJI MASKER RAUDHOTUL JANNAH F4511160011
---	--

Lampiran 2 Desain masker pernapasan dalam pengujian efektivitas masker



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Bogor pada tanggal 22 Agustus 1993 sebagai anak kedua dari pasangan Ir. Soleh dan Ismayati. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2016, penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S-2) di Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan pada Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Karya ilmiah berjudul *Design and Test Performances of Respiratory Mask Prototype as Air Pollution Filter* telah dipublikasi di jurnal International Journal of Advances in Engineering Research .