

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Mikroorganisme di Udara

Mikroorganisme terdapat dimana-mana termasuk di udara. Mikroorganisme di udara bersifat sementara dan beragam. Udara bukanlah suatu medium tempat mikroorganisme tumbuh, tetapi udara merupakan media pembawa partikulat, debu dan tetesan cairan yang menjadi sumber hidup mikroba. Mikroorganisme di udara ada karena partikel debu tempat mereka hidup terbawa angin, selain itu butir-butir air juga menjadi tempat menempel mereka setelah terbawa angin akan mengalami proses penguapan. Ketika butir-butir ini menguap, mikroorganisme yang menempel pada butir air tersebut kemudian tersebar. Mikroorganisme bisa terbawa di udara sejauh beberapa meter atau beberapa kilometer dan sebagian segera mati dalam beberapa detik. Mikroorganisme lain bahkan ada yang dapat bertahan hidup hingga berminggu-minggu bahkan berbulan-bulan. Kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan tingginya konsentrasi mikroorganisme akan memunculkan permasalahan (Irianto, 2007).

Kelompok mikroorganisme yang paling banyak tersebar di udara bebas adalah bakteri, jamur (termasuk di dalamnya ragi) dan juga mikroalga. Belum ada mikroorganisme yang habitat aslinya di udara. Mereka terdapat dalam jumlah yang relatif kecil bila dibandingkan

dengan di air atau di tanah. Mikroorganisme udara dapat dipelajari dalam dua bagian, yaitu mikroorganisme udara di luar ruangan dan mikroorganisme udara di dalam ruangan. Mikroorganisme paling banyak ditemukan di dalam ruangan (Waluyo, 2009).

Menurut Pelczar tahun 1958, beberapa faktor yang menentukan jumlah dan jenis mikroorganisme yang mendiami udara adalah:

- a. Sumber mikroorganisme (tanah, laut, bersin dan lain-lain).
- b. Ketahanan jenis mikroorganisme tersebut terhadap kondisi fisik seperti suhu, kelembaban dan cahaya matahari.
- c. Jumlah dan aktivitasnya.
- d. Lingkungan luar (kondisi cuaca dan ketinggian tempat)

2. Jenis-jenis Mikroorganisme Yang Mencemari Udara

a. Bakteri

Menurut Burge tahun 2001 terdapat tipe dari beberapa bakteri yang banyak ditemukan di dalam ruang, antara lain :

1). *Micrococcus sp*

Spesies bakteri ini terdapat pada kulit tubuh manusia. Bakteri ini ditemukan pada area dengan okupansi tinggi atau pada area dengan ventilasi yang tidak baik. *Micrococcus* adalah jenis bakteri yang tidak berbahaya. Dalam keadaan normal, bakteri ini dapat dibasmi dengan sistem ventilasi yang baik dan proses pembersihan dengan penyedot debu atau sejenisnya.

2). *Bacillus sp*

Bakteri yang tidak berbahaya ini umumnya diasosiasikan dengan tanah dan debu. Keadaan temperatur dan kadar air yang tepat pada permukaan debu dan kertas media yang baik bagi pertumbuhan bakteri ini.

3). *Staphylococcus sp*

Staphylococcus juga terdapat pada permukaan kulit tubuh manusia. Diantaranya spesies Staphylococcus yang paling umum terdapat di dalam ruang adalah *staphylococcus aureus*, yaitu patogen yang penting dalam lingkungan rumah sakit karena mempunyai kemampuan memecah sel darah merah.

4). Batang gram-positif

Batang gram-positif merupakan tipe bakteri yang juga diasosiasik dengan tanah dan debu. Meskipun tergolong jenis patogen yang tidak berbahaya, bakteri ini tumbuh di area yang basah dan lembab seperti pada karpet, dinding dan perabot. Bakteri ini dapat dihilangkan dengan cara pembersihan dan ventilasi yang memadai.

5). Batang gram-negatif

Mikroorganisme ini jarang ditemui di lingkungan dalam ruang. Keberadaan mikroorganisme ini terkait dengan bioaerosol dari air yang terkontaminasi, misalnya pada tumpahan air pembuangan, banjir dan atau sistem *Air Handling Unit* (AHU) yang meningkat.

Beberapa bakteri gram-negatif dapat menyebabkan demam. Pertumbuhan bakteri ini dapat memicu gejala seperti pneumonia akut. Pembersihan dengan desinfektan merupakan cara paling mudah untuk membunuh bakteri jenis ini.

b. Jamur

Jamur dapat membahayakan kesehatan manusia dengan penyebaran spora di udara dan terhirup melalui proses inhalasi. Beberapa jenis jamur dapat bersifat patogen dan menimbulkan efek toksik pada manusia dan vertebrata lainnya (Robbins et al,2000). Paparan material berjamur yang berulang sampai kuantitas tertentu dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan atau alergi pada beberapa individu (Bush et al,2006).

Kelembaban pada substrat termasuk di udara adalah merupakan salah satu faktor utama dalam pertumbuhan jamur. Pada umumnya, sebagian besar jamur dapat tumbuh pada kondisi lingkungan yang lembab. Selain itu, air juga menjadi faktor penting lainnya. Air membantu proses difusi dan pencernaan. Selain itu, air juga mempengaruhi substrat pH dan osmolaritas dan merupakan sumber dari hidrogen dan oksigen, yang dibutuhkan selama proses metabolisme. Pertumbuhan suatu jamur ditentukan oleh kandungan air dari suatu substrat (Quidesat,2009).

Suhu di dalam ruangan dalam rentang 18° - 24° C adalah suhu optimal bagi pertumbuhan kebanyakan jamur, meskipun beberapa

jenis jamur dapat hidup juga di rentang suhu yang luas. Sedikit jamur yang mempunyai temperatur optimal di atas 30⁰ C yaitu *Aspergillus sp.* Jamur di dalam lingkungan tidak tumbuh jika suhu di atas 30⁰ C. Spora jamur lebih tahan panas daripada miselia dan pada umumnya bertahan lebih lama pada suhu yang lebih luas rentangnya. (Gutarowska dan Piotrowska,2007).

3. Faktor Lingkungan Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroorganism

Sejumlah faktor intrinsik dan lingkungan mempengaruhi dan distribusi jenis mikroflora di udara. Faktor intrinsik meliputi sifat dan keadaan fisiologis mikroorganism dan juga keadaan suspensi. Spora relatif lebih banyak daripada sel vegetatif. Hal ini terutama karena sifat spora dorman yang memungkinkan mereka untuk mentolerir kondisi yang tidak menguntungkan seperti pengeringan, kurangnya nutrisi yang cukup dan radiasi ultraviolet. Demikian pula spora fungi berlimpah di udara karena spora merupakan alat penyebaran penyebaran fungi (Gutarowska dan Piotrowska, 2007).

Ukuran mikroorganism merupakan faktor yang menentukan jangka waktu mereka untuk tetap melayang di udara. Umumnya mikroorganism yang lebih kecil dapat dengan mudah dibebaskan ke udara dan tetap di sana selama jangka waktu lama. Miselium fungi memiliki ukuran yang lebih besar dan karena itu tidak dapat bertahan

lama di udara. Keadaan suspensi memainkan peran penting keberadaan mikroorganisme di udara. Semakin kecil suspensi, semakin besar kemungkinan mereka untuk tetap berada di udara. Biasanya mereka melekat pada partikel debu dan air liur. Mikroorganisme yang ada dalam partikel debu di udara hanya hidup untuk waktu yang singkat. Tetesan yang dibuang ke udara melalui batuk atau bersin juga hanya dapat bertahan di udara untuk waktu singkat. Namun jika ukuran suspensi menurun, mereka dapat bertahan lama di udara (Budiyanto,2005).

Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi mikroba udara adalah suhu atmosfer, kelembaban, angin, ketinggian, dan lain-lain. Temperatur dan kelembaban relatif adalah dua faktor penting yang menentukan visibilitas dari mikroorganisme dalam aerosol. Studi dengan *Serratia marcescens* dan *E.Coli* menunjukkan bahwa kelangsungan hidup udara terkait erat dengan suhu. Ada peningkatan yang progresif di tingkat kematian dengan peningkatan suhu dari -18°C sampai 49°C . Virus dalam aerosol menunjukkan perilaku serupa. Partikel influenza, polio dan virus *vaccinia* lebih mampu bertahan hidup pada temperatur rendah, $7-24^{\circ}\text{C}$. Tingkat kelembaban relatif (*Relative Humidity*) optimum untuk kelangsungan hidup mikroorganisme adalah antara 40 sampai 80%. Kelembaban relatif yang lebih tinggi maupun lebih rendah menyebabkan kematian mikroorganisme. Hampir semua virus mampu bertahan hidup lebih baik pada RH 17 sampai 25%. Namun, virus poliomyelitis bertahan lebih baik pada RH 80-81%.

Kemampuan mikroba bertahan hidup lebih ditentukan oleh RH dan suhu. Pada semua temperatur, kemampuan mereka untuk bertahan hidup adalah pada RH ekstrem. Terlepas dari RH, peningkatan suhu menyebabkan penurunan waktu bertahan (Sri dkk,2010).

Pengaruh angin juga menentukan keberadaan mikroorganisme di udara. Pada udara yang tenang, partikel cenderung turun oleh gravitasi. Tapi sedikit aliran udara dapat menjaga mereka dalam suspensi untuk waktu yang relatif lama. Angin penting dalam penyebaran mikroorganisme karena membawa mereka lebih jauh. Arus juga memproduksi turbulensi udara yang menyebabkan distribusi vertikal mikroba udara. Pola cuaca global juga mempengaruhi penyebaran vertikal. Ketinggian membatasi distribusi mikroba di udara. Semakin tinggi dari permukaan bumi, udara semakin kering, radiasi ultraviolet semakin tinggi, dan suhu semakin rendah sampai bagian puncak troposfer. Hanya spora yang dapat bertahan dalam kondisi ini, dengan demikian, mikroba yang masih mampu bertahan pada ketinggian adalah mikroba dalam fase spora dan bentuk-bentuk resisten lainnya (Sri dkk,2010).

4. Pemeriksaan Jumlah Mikroorganisme di Udara

Sampel udara yang diambil untuk menentukan jumlah mikroorganisme memerlukan peralatan khusus. Peralatan tersebut dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bentuk padat (*Solid impingement*

Device) dan bentuk cair (*Liquid Impingement Device*). Pada *Solid impingement Device*, mikroorganisme dikumpulkan pada permukaan media agar padat. Sedangkan pada *Liquid Impingement Device*, sampel udara dalam spray dapat dialirkan langsung dalam suatu media air atau melalui penyaringan terlebih dahulu, sebelum dilarutkan dalam media cair. Campuran cairan tersebut selanjutnya disebarakan pada plate untuk dibiakkan (Pasquarella, 2000).

Settling plate merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk analisis mikrobiologi udara. Teknik ini dilakukan dengan memaparkan cawan petri yang berisi suatu media agar yang dibuka sehingga permukaan agar terpapar udara untuk beberapa menit. Setelah cawan petri diinkubasi akan tampak pertumbuhan sejumlah koloni. Masing-masing koloni menunjukkan satu mikroorganisme yang jatuh pada permukaan agar. Dengan pengulangan *settling plate* ini pada periode waktu tertentu digunakan untuk memperoleh suatu dugaan adanya kontaminan udara dan gambaran tentang jenis mikroorganisme (Pasquarella, 2000).

Koloni mikroba dihitung menggunakan metode hitungan cawan. Prinsip metode hitungan cawan adalah menumbuhkan sel mikroorganisme pada cawan petri dengan media agar, maka mikroorganisme mampu berkembang dan membentuk koloni (Harti, 2015). Jumlah koloni mikroba yang tumbuh pada media agar dan dapat dihitung berkisar antara kurang dari 300 koloni. Jika jumlah koloni lebih

dari 300 koloni maka dapat dicatat dengan terlalu padat untuk dihitung (*too numerous to count*, TNTC) (Harmita, 2008).

Syarat perhitungan dengan metode cawan *menggunakan standart plate count* (SPC) sebagai berikut:

- a. Cawan yang dipilih dan dihitung memiliki jumlah koloni 30-300.
- b. Koloni yang bergabung menjadi satu merupakan satu kumpulan koloni besar dimana jumlah koloni diragukan dapat dihitung sebagai satu koloni.
- c. Satu deretan rantai koloni yang terlihat sebagai satu garis tebal dihitung sebagai satu koloni.

5. Angka Lempeng Total (ALT)

Angka lempeng total (ALT) adalah metode semikuantitatif yang digunakan untuk mengetahui jumlah mikroba yang ada pada sampel. Uji angka lempeng total (ALT) atau tepatnya ALT aerob mesofil atau anaerob mesofil menggunakan media padat dengan hasil akhir berupa koloni yang dapat diamati secara visual berupa angka dalam koloni (CFU) per ml/gram atau koloni/100ml. Cara yang digunakan dengan cara tuang (*pour plate*) dan cara sebar (*spread plate*). Prinsip pengujian menurut Metode Analisis Mikrobiologi (MA PPOMN nomor 96/mik/00) yaitu pertumbuhan koloni aerob mesofil setelah cuplikan kemudian diinokulasi pada media lempeng agar dengan cara tuang dan diinkubasi pada suhu yang sesuai. Pada pengujian angka lempeng total

(ALT) menggunakan *plate count agar* (PCA) sebagai media padatnya (BPOM RI, 2008).

Koloni yang tumbuh tidak selalu berasal dari satu sel mikroba, karena beberapa mikroba tertentu cenderung berkelompok atau berantai. Bila ditumbuhkan pada media dan lingkungan yang sesuai, kelompok mikroba ini akan menghasilkan satu koloni. Oleh karena itu, sering digunakan istilah *Colony Forming Unit* (CFU) untuk menghitung jumlah mikroba hidup (BPOM RI, 2008).

6. Manfaat Sinar UV

Kelompok radiasi elektromagnetik terdiri dari 3 jenis yaitu radiasi ultraviolet (UV), cahaya tampak dan infra merah (IR). Spektrum sinar UV adalah elektromagnetik yang terentang pada rentang panjang gelombang 100 nm- 400nm yang dibagi atas menjadi sinar ultraviolet A atau UV-A (λ 320-400 nm) umumnya dapat menyebabkan kerusakan pada kulit manusia, sinar UV-B (λ 280-320 nm) dapat menyebabkan kulit terbakar dan akhirnya menimbulkan penyakit kanker dan sinar UV-C (λ 100-280 nm) yang dapat berefek untuk membuat bakteri dan virus tidak aktif (WHO, 2009).

Sumber radiasi UV alam adalah matahari, tetapi karena serapan atom oksigen sehingga membentuk lapisan ozon, maka radiasi matahari yang sampai ke bumi (terrestrial) intensitasnya lebih rendah yang meliputi UV dengan panjang gelombang 290 – 400 nm, sedangkan

panjang gelombang yang lebih pendek diserap oleh lapisan atmosfer. Sebagai penyerap utama radiasi UV, lapisan gas ini berfungsi sebagai pelindung bumi dari pajanan sebagai radiasi UV yang lebih pendek dari 340 nm. Semakin berkurangnya lapisan ozon sebagai akibat dari pelepasan *chloofluorocarbon* (CFC) hasil buatan manusia ke atmosfer akan memperkecil tingkat proteksi ozon terhadap sinar UV dan menyebabkan tingkat kerusakan akibat pajanan radiasi UV semakin besar (De Grujl, 2000).

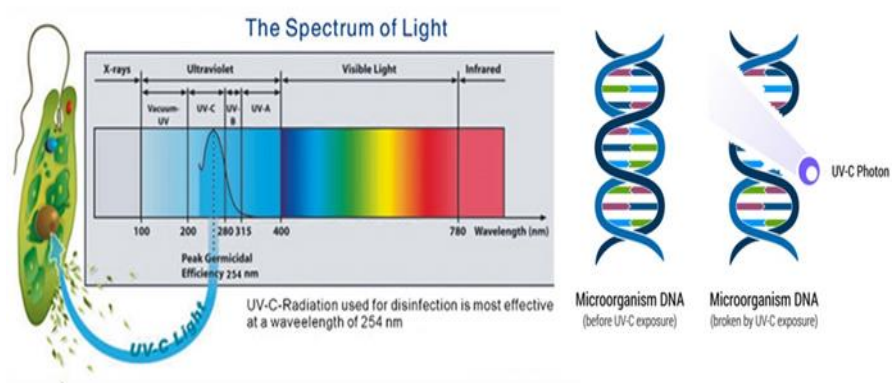
Mikroba dapat dibunuh dengan penyinaran memakai sinar UV. Panjang gelombang yang dapat membunuh mikroba adalah 220-290 nm, dengan daya bunuh maksimum pada panjang gelombang 253,7 nm. Faktor penghambat dari sinar UV adalah daya penetrasi yang lemah. Untuk memperoleh hasil yang baik, maka bahan yang disterilkan harus dilewatkan atau ditempatkan langsung di bawah sinar UV (Waluyo, 2010). Tetapi sinar UV mempunyai keterbatasan yaitu tidak dapat menembus gelas biasa, kotoran, kertas dan nanah. Sinar UV telah digunakan untuk mengurangi mikroba di udara dalam ruang operasi, ruang bayi bagian penyakit menular, ruangan sekolah, dan laboratorium (Volk dan Wheele, 2003).

7. Efek Sinar UV Terhadap Mikroorganismse

Sumber ultraviolet buatan umumnya berasal dari lampu fluorescent khusus, seperti lampu merkuri tekanan rendah (low pressure) dan lampu merkuri tekanan sedang (medium pressure).

Lampu merkuri medium pressure mampu menghasilkan output radiasi ultraviolet yang lebih besar daripada lampu merkuri low pressure. Namun lampu merkuri low pressure lebih efisien dalam pemakaian listrik dibandingkan lampu merkuri medium pressure. Lampu merkuri low pressure menghasilkan radiasi maksimum pada panjang gelombang 253,7 nm yang lethal bagi mikroorganisme, protozoa, virus dan algae (Ariyadi, 2009). Sedangkan radiasi lampu merkuri medium pressure diemisikan pada panjang gelombang 180 – 1370 nm (Bolton, 2001)

Pensterilan menggunakan sinar UV merupakan proses fisik dimana terjadi proses transfer energi elektromagnetik dari sumber (lampu) menuju materi selular (protein dan asam nukleat) organisme. Cahaya UV merusak DNA mikroorganisme dengan membentuk dimer timin (thymine dimers). Dimer ini mencegah mikroorganisme dari transkripsi dan replika DNA yang akhirnya akan menyebabkan kematian sel (Miller dkk, 1999). Mekanisme perusakan DNA oleh sinar ultraviolet berdasarkan Alcamo (1984) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme kerja lampu UV (Alcamo, 1984)

Dimer timin akan menghalangi replikasi DNA normal dengan cara menutup jalan enzim replikasi. Dalam keadaan tersebut, sistem perbaikan yang cenderung salah dirangsang untuk mereplikasi sel melalui DNA yang rusak, inilah yang dinamakan mutasi sel, absorpsi radiasi sinar UV menyebabkan modifikasi kimiawi nukleoprotein dan menimbulkan hubungan silang antara pasangan-pasangan molekul timin. Hubungan ini dapat menimbulkan salah baca dari kode genetika yang berakibat mutasi. Selanjutnya akan merusak atau melemahkan fungsi vital organisme dan kemudian mematikannya (Waluyo, 2010).

Adanya kemampuan mikroba untuk memperbaiki kerusakan selnya akan dapat mempengaruhi efisiensi proses desinfeksi, namun mekanisme reaktivasi mikroorganisme tersebut dapat diatasi dengan penggunaan dosis sinar ultra violet yang sesuai. Dengan penggunaan sinar ultra violet secara berlebihan, atau tidak terkontrol dapat menyebabkan ketidakefektifan dari sinar ultra violet, sehingga lama dan jarak penyinaran harus sesuai dengan alat atau bahan yang disterilkan (Cahyonugroho, 2010).

Sel mikroorganisme dapat melakukan perbaikan dengan dua sistem:

- a. Fotorektivasi, yaitu proses mengaktifkan enzim yang berfungsi memotong dimer timin. Enzim lain yaitu DNA polimerase mengganti dimer timin dengan molekul timin individual. Karena enzim ini dapat diaktifkan oleh cahaya biasa, sel yang mati karena cahaya UV dapat dihidupkan kembali.

- b. Perbaiki pemotongan di tempat gelap. Proses ini memperbaiki DNA dengan menghilangkan dimer timin dan menggantinya dengan timin individual yang tidak terikat secara kovalen. Dengan demikian bakteri mempunyai sistem perbaikan yang beroperasi memperbaiki kerusakan yang disebabkan penyinaran UV.

8. *Biological Safety Cabinet (BSC)*

Biological safety cabinet (BSC) atau Kabinet *biosafety* adalah salah satu alat yang digunakan dalam ruang bidang mikrobiologi dan berfungsi untuk memberikan perlindungan bagi pengguna, meminimalisir terjadinya kontaminasi dari virus/bakteri yang bersifat patogen serta dapat menjaga lingkungan area kerja dengan merekayasa ventilasi udara. BSC tidak hanya melindungi produknya, tapi juga melindungi pengguna dan lingkungan kerja melalui sistem HEPA filter.

Biological Safety Cabinet merupakan kabinet kerja yang disterilkan untuk kerja di tempat yang memiliki resiko mikrobiologi. BSC memiliki suatu pengatur aliran udara yang menciptakan aliran udara kotor (dimungkinkan ada kontaminan) untuk disaring dan diresirkulasi melalui filter. BSC dirancang untuk melindungi operator, seluruh lingkungan laboratorium dan material kerja dari penyebaran aerosol beracun dan infeksius. Kegiatan laboratorium seperti inokulasi kultur sel, suspensi cairan dari senyawa infeksius, homogenisasi, dan pengocokan material infeksius, sentrifugasi dari cairan beracun, atau

bekerja dengan hewan dapat menimbulkan aerosol beracun (Suhardi et al., 2008).

BSC menggunakan *Laminar air flow* untuk menghalangi *airborne disease*. Pada alat ini digunakan HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) sebagai filter untuk membersihkan mikroba, udara pada BSC akan bersirkulasi melalui filter HEPA. Filter ini memiliki efisiensi 99,99% terhadap partikel dengan diameter di bawah 0,3 μm . Berdasarkan kelompok resiko terhadap bahaya biologi (*Biohazard*) *Biosafety Cabinet* ini dibagi menjadi tiga kelas yaitu : Kelas I, Kelas II (A1, A2, B1, B2), dan kelas III (Suhardi et al., 2008).

Level keselamatan biologi atau (*biosafety level*) adalah level atau tingkatan keselamatan yang diperlukan untuk penanganan agen biologi. *Centers for Disease Control and Prevention* atau Pusat Pencegahan dan Penanganan Penyakit yang berpusat di Amerika Serikat membagi empat level penanganan keselamatan biologi yaitu

a. Level keselamatan biologi 1

Level keselamatan biologi 1 diperuntukkan bagi agen-agen yang diketahui tidak menyebabkan penyakit pada manusia dewasa yang sehat dan bahaya potensial yang minimal bagi pekerja laboratorium dan lingkungan. Laboratorium tidak memerlukan lokasi terpisah dari lokasi umum dalam suatu bangunan. Contoh

agen biologi kategori level keselamatan biologi 1 antara lain: *Bacillus subtilis*, hepatitis, *E. coli* dan virus cacar air.

b. Level keselamatan biologi 2

Level keselamatan biologi 2 memiliki kesamaan dengan level keselamatan biologi 1. Perbedaannya terletak pada beberapa hal berikut:

- 1). Pekerja laboratorium memiliki pelatihan khusus dalam penanganan agen agen patogenik dan berada dibawah arahan ilmuwan yang berkompeten.
- 2). Akses ke laboratorium dibatasi ketika pekerjaan tengah dilakukan.
- 3). Penanganan khusus bagi barang-barang tajam.
- 4). Prosedur khusus bagi pekerjaan dengan gas atau tumpahan mengandung agen berinfeksi dilakukan di dalam wadah khusus. Contoh agen biologi kategori level keselamatan biologi 2 antara lain: Hepatitis B, Hepatitis C, Flu, virus *West Nile* dan *Salmonella*.

c. Level keselamatan biologi 3

Level keselamatan biologi 3 ditujukan bagi fasilitas klinis, diagnostik, riset atau produksi yang berhubungan dengan agen-agen eksotik yang dapat mengakibatkan potensi terkena

penyakit berbahaya. Pekerja laboratorium memiliki pelatihan khusus dalam penanganan agen-agen patogenik berbahaya dan diawasi oleh ilmuwan-ilmuwan berkompetensi yang berpengalaman dalam bekerja dengan agen-agen tersebut. Contoh agen biologi kategori level keselamatan biologi 3 antara lain: *Anthrax*, HIV, SARS, Tuberculosis, virus cacar, thypus dan *avian influenza*.

Semua prosedur menyangkut penanganan material berbahaya dilakukan dalam wadah tertutup oleh pekerja yang memakai peralatan dan baju pelindung khusus. Laboratorium memiliki fasilitas dan didesain khusus untuk hal tersebut antara lain pintu akses ganda.

d. Level keselamatan biologi 4

Dibutuhkan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan agen-agen eksotik yang ekstrim berbahaya, dimana memiliki risiko tinggi penyebaran melalui udara. Staf laboratorium memiliki pelatihan khusus dalam menangani agen-agen berbahaya tersebut. Fasilitas laboratorium terisolasi dari tempat-tempat umum. Semua pekerjaan dalam fasilitas ini dilakukan dalam tempat tertutup khusus. Pekerjaannya memakai pakaian pelindung khusus lengkap dengan tabung oksigen yang tersendiri. Contoh

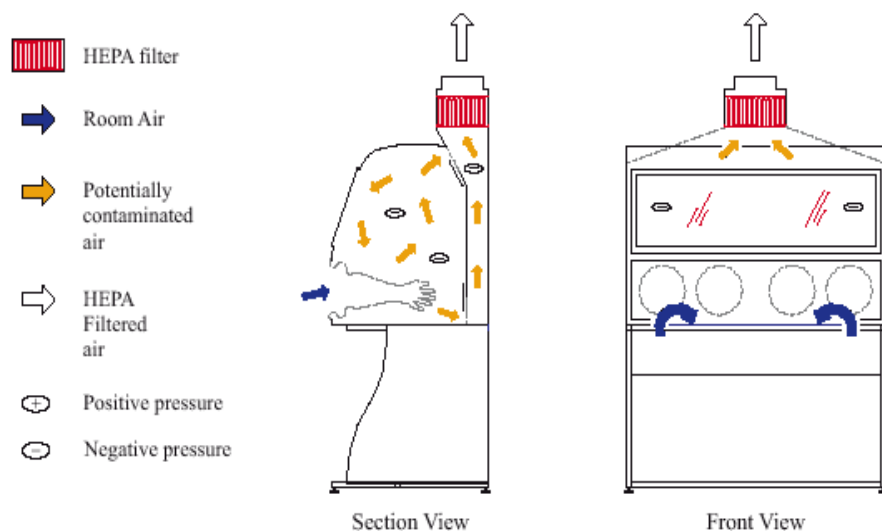
agen biologi kategori level keselamatan biologi 4 antara lain: Ebola, virus Hanta dan virus Lassa.

Menurut Sri Rejeki dalam modul bahan ajar farmasi tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2016), dari tahun ke tahun desain BSC telah mengalami beberapa modifikasi. Sebuah perubahan utama yang dilakukan adalah penambahan suatu saringan HEPA dengan efisiensi tinggi pada sistem pembuangan udara. Saringan HEPA menyaring 99,97% partikel unsur dengan diameter 0.3 μm dan 99,99% partikel unsur yang lebih kecil atau lebih besar. Ini memungkinkan saringan HEPA menyaring secara efektif semua senyawa infeksius dan memastikan bahwa hanya udara yang bebas mikroba saja yang dikeluarkan dari kabinet tersebut. Modifikasi desain yang kedua adalah pada saringan udara HEPA di atas permukaan bidang kerja, yang menyediakan perlindungan material permukaan bidang kerja dari pencemaran. Hal ini sebagai perlindungan produk. Konsep desain ini dasar ini menghasilkan evolusi tiga kelas BSC, yaitu:

a. Kabinet Biosafety Kelas I

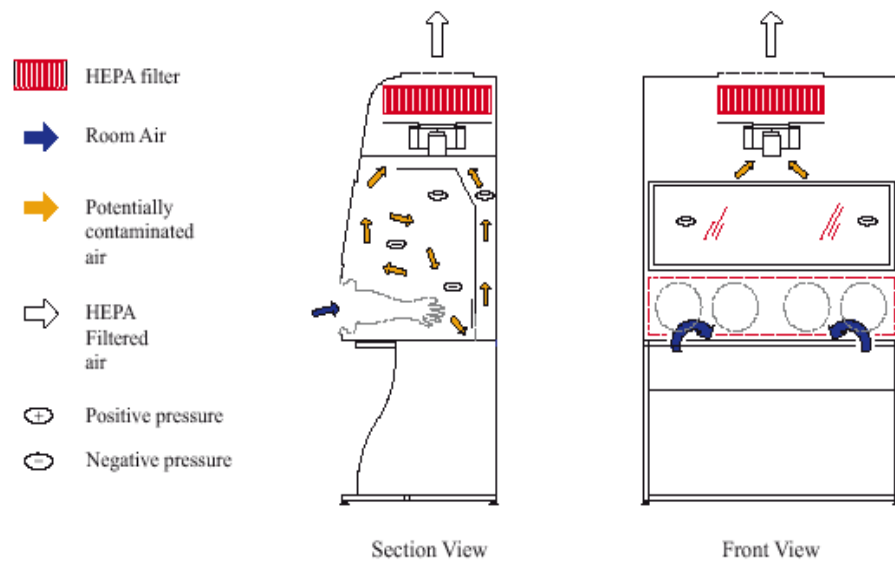
Kelas I dirancang untuk melindungi praktikan atau peneliti, aliran udara yang keluar yang terkontaminasi akan disaring melalui HEPA filter. Pada Kabinet Biosafety Kelas I tidak terdapat resirkulasi udara. Udara luar dapat masuk melewati

area kerja, oleh karena itu Kabinet Biosafety ini tidak untuk perlindungan produk. Ruang terbuka memungkinkan operator untuk menjangkau permukaan bidang kerja, jendela dapat dibuka seluruhnya untuk menyediakan akses pada bidang kerja. Merupakan ruang bertekanan negatif yang memiliki percepatan minimum 0,38 m/s. Kabinet Biosafety jenis ini cocok untuk bekerja dengan radionuklida dan bahan kimia beracun yang nonvolatile. Gambar BSC kelas I, dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Biosafety* kelas I (Sri Rejeki, 2016).

Sedangkan gambar *biosafety* yang dilengkapi blower, ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. BSC kelas I dengan rakitan motor atau blower (Sri Rejeki, 2016)

b. Kabinet Biosafety kelas II

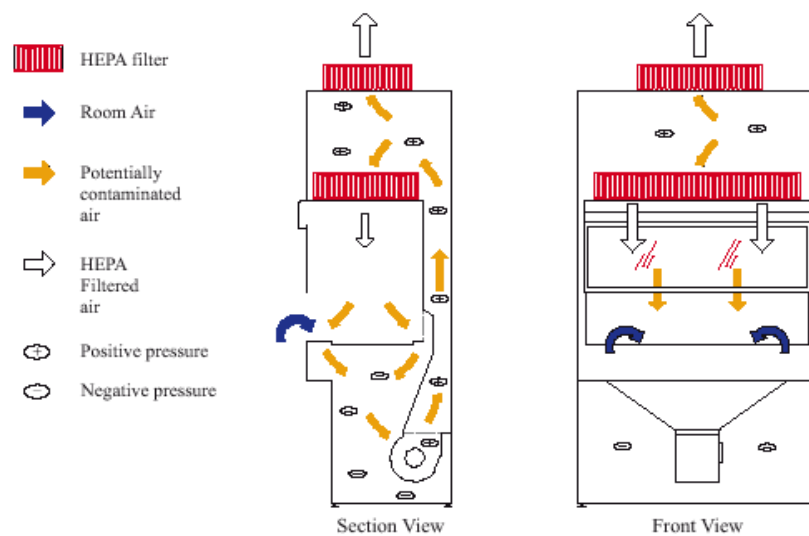
Dengan pesatnya penggunaan sel dan kultur jaringan untuk perkembangbiakan virus dan tujuan lain, tidak ada pilihan yang lebih baik selain udara ruang yang tidak disterilkan agar tidak melewati permukaan bidang kerja. Kabinet Biosafety kelas II dirancang tidak hanya untuk melindungi personil tapi juga untuk melindungi material permukaan bidang kerja dari udara yang telah tercemar, merupakan bukaan depan,

berventilasi, menggunakan HEPA filter, memiliki resirkulasi udara ke dalam bidang kerja. Dapat digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan senyawa infeksius yang termasuk kelompok risiko 2 dan 3. Dapat pula digunakan untuk kelompok risiko 4 jika memakai Alat Pelindung Diri (APD) dan tekanan udara positif. Kabinet Biosafety Kelas II ini terdiri dari 4 jenis yaitu tipe A1, A2, B1, dan B2.

1). Kabinet *Biosafety* Kelas II Tipe A1

Tidak harus ada ventilasi keluar, cocok untuk laboratorium yang tidak punya saluran perpipaan. Digunakan untuk agen yang memiliki risiko rendah dan tidak mengandung bahan kimia beracun yang mudah menguap dan radionuklida yang mudah menguap. Percepatan udara masuk minimal 0,38-0,5 m/s pada bukaan depan. Selanjutnya udara masuk ke area bertekanan negatif melalui *front grille* dan *rear grille* di bawah permukaan kerja. Setelah udara masuk ke wilayah bertekanan negatif, udara masuk ke *blower* menuju plenum bertekanan positif. Udara disaring oleh HEPA filter sebelum di buang keluar kabinet dan sebagian lagi akan masuk kembali ke area permukaan kerja kabinet. Jika dimungkinkan udara dibuang ke luar gedung maka udara tersebut akan memasuki suatu tudung kanopi "*thimble*" ketika keseimbangan tekanan dalam kabinet tidak

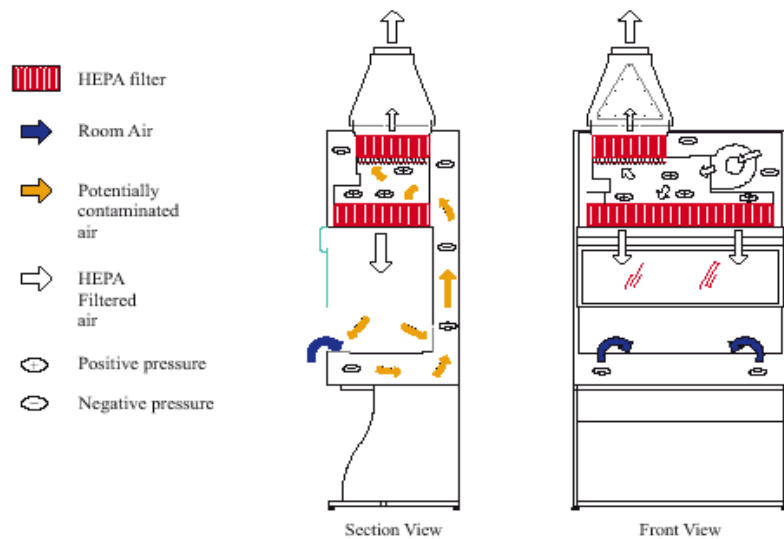
terganggu oleh fluktuasi dalam sistem pembuangan. Gambar kabinet safety kelas II tipe A1 ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. kabinet safety kelas II tipe A1 (Sri Rejeki, 2016).

2). Kabinet *Biosafety* Kelas II Tipe A2

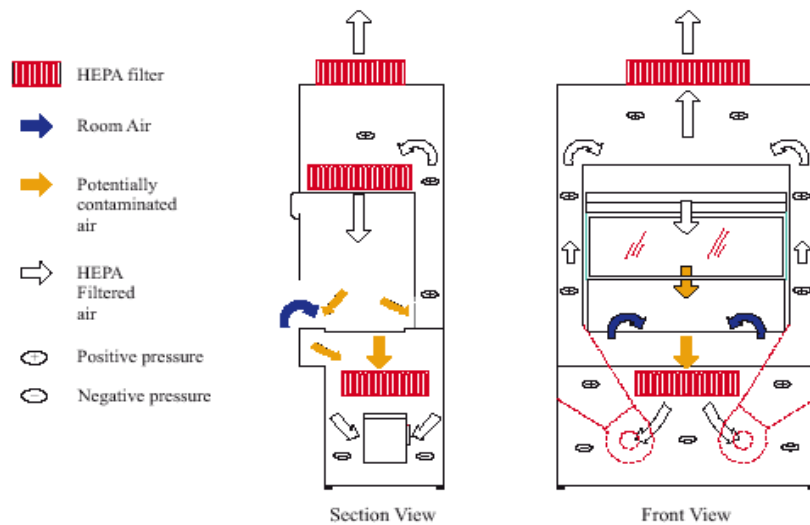
Kabinet *Biosafety* jenis ini memiliki resirkulasi udara. Udara masuk dari bukaan depan akan tertarik ke *front grille* dan *rear grille*. Selanjutnya, udara ini bergerak dari plenum dengan tekanan negatif ke plenum bertekanan positif. Sebanyak 30% dibuang keluar dan 70% masuk kembali kedalam ruangan melalui saringan HEPA *filter*. Percepatan udara masuk minimal 0,5 m/s atau 100 ft/min. Kabinet *Biosafety* ini cocok untuk bekerja dengan bahan kimia beracun dan radio nuklida volatile tingkat rendah. Gambar Kabinet Kelas II Tipe A2 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kabinet Kelas II Tipe A2 (sri Rejeki, 2016).

3). Kabinet *Biosafety* Kelas II Tipe B1

Kabinet *Biosafety* kelas II tipe B1 cocok untuk pekerjaan dengan agen biologis yang membutuhkan keamanan biologis tingkat 2 dan 3. Udara dari ruangan masuk ke bukaan depan lalu ditarik ke *front grille* dan *rear grille*. Selanjutnya, udara disaring oleh HEPA *filter* yang berada di area bertekanan negatif dan di bawah permukaan kerja. Udara yang sudah disaring naik ke atas melalui plenum dengan tekanan positif. Sebanyak 70% udara dibuang keluar dan 30% masuk kembali ke dalam ruangan. Percepatan minimal 0,5 m/s, cocok untuk bekerja dengan bahan kimia beracun dan radionuklida volatile konsentrasi rendah. Gambar Kabinet Kelas II Tipe B1 ditunjukkan Gambar 6.

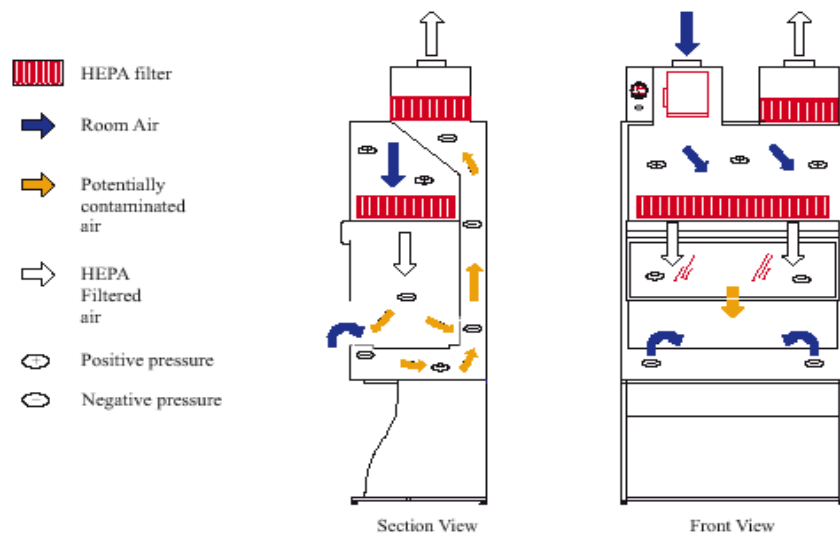


Gambar 6. Kabinet Kelas II Tipe B1 (Sri Rejeki, 2016).

4). Kabinet *Biosafety* Kelas B2

Kabinet *Biosafety* kelas II tipe B2 cocok untuk pekerjaan dengan agen biologis yang membutuhkan keamanan biologis tingkat 1, 2 dan 3. Tidak ada resirkulasi udara, 100% udara dibuang. Memiliki *duct* dan *plenum* dengan tekanan negatif, percepatan minimal 0,5 m/s, cocok untuk bekerja dengan bahan kimia beracun dan radionuklida volatile. Memiliki alarm yang akan berbunyi jika aliran penghisap berhenti. *Blower* menyuplai udara ruang kedalam tekanan positif di atas kabinet, melalui HEPA filter lalu ke bawah menuju permukaan kerja. Pada area kerja, udara hasil saringan HEPA bercampur dengan udara bukaan depan lalu masuk ke *front grille* dan *rear grille*. Selanjutnya, udara ini ditarik ke *plenum* terkontaminasi

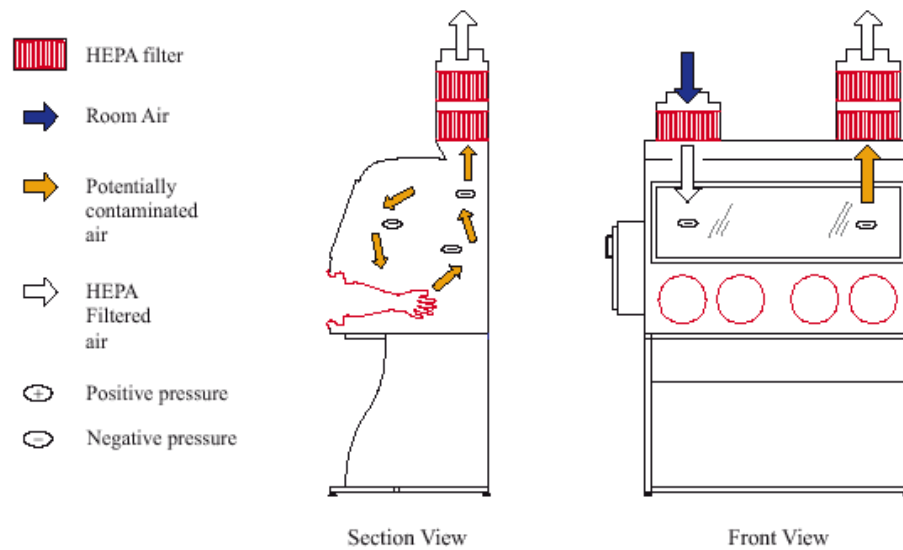
bertekanan negatif dan disaring melalui HEPA filter sebelum di buang ke luar kabinet. Gambar kabinet Kelas Safety B2 ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kabinet Safety Kelas B2 (Sri Rejeki, 2016).

c. Kabinet *Biosafety* Kelas III

Menyediakan tingkat perlindungan paling tinggi dan digunakan untuk kelompok risiko 4. Semua penetrasi disegel kedap gas. Pasokan udara melalui saringan HEPA dan buangan juga melewati HEPA. Udara di dalam kabinet tetap bertekanan negatif. Akses ke dalam ruangan harus memakai sarung tangan yang terikat ports di dalam kabinet. HEPA buangan dapat disambungkan dengan pintu ganda autoklaf agar semua senyawa infeksius dapat steril. *Globe box* dapat digabungkan untuk memperluas permukaan bidang kerja, cocok untuk keamanan biologi tingkat 3&4. Gambar kabinet biosafety kelas III ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Kabinet biosafety kelas III (Sri Rejeki, 2016).

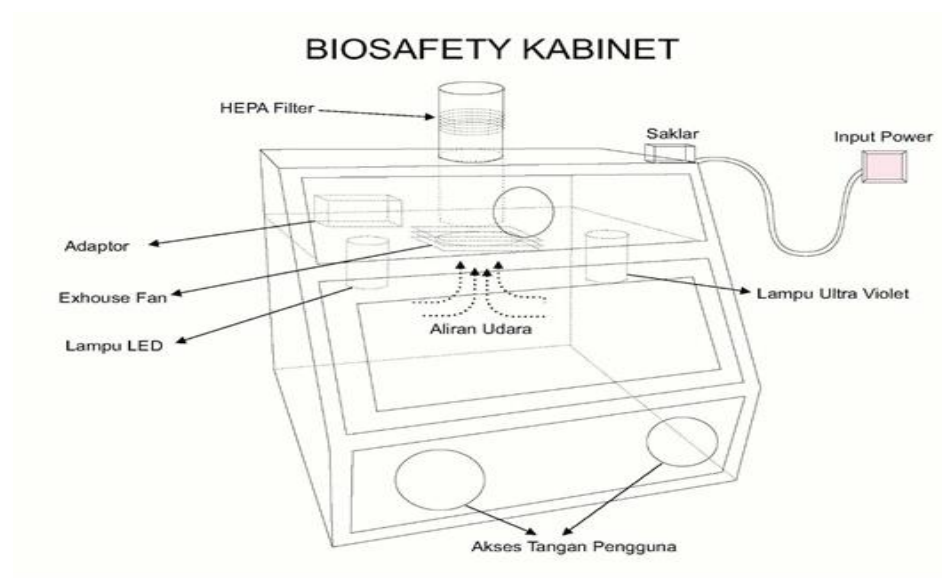
9. Kreasi Aluminium sebagai Alternatif Kabinet *Biosafety* (KB)

Kelas I

Produk kreasi aluminium sebagai alternatif Kabinet *Biosafety* kelas I merupakan bentuk hasil dari Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dari Jurusan Analis Kesehatan Poltekkes Kemenkes Yogyakarta tahun 2018. Pembuatan Kabinet *Biosafety* ini sederhana yang memenuhi fungsi dasar keamanan kerja di laboratorium yaitu Kabinet *Biosafety* yang cukup memenuhi persyaratan keamanan tingkat biosafety dasar-BSL I dengan kelompok resiko 1. Dan bisa dikategorikan sebagai teknologi tepat guna. Kabinet *Biosafety* sederhana ini dianggap mampu menggantikan fungsi dan peranan KB yang dijual di pasaran dengan harga yang cukup mahal. Harga Kabinet *Biosafety* yang dinilai cukup mahal ini, membuat tidak semua laboratorium menyediakan Kabinet *Biosafety* dalam operasionalnya.

Sehingga diharapkan dengan adanya kreasi alumunium sebagai alternatif pengganti Kabinet Biosafety sederhana dan membuat laboratorium dasar mampu membeli untuk kepentingan pelayanan dan keamanan petugas laboratorium.

Bahan yang digunakan sebagai rangka adalah alumunium. Dengan ukuran $p \times l \times t = 57,8 \times 47,8 \times 39,4$ cm, atau seluas $0,108 \text{ m}^3$ dan dilengkapi lampu LED 13 Watt, lampu UV germisida 8 Watt, *Fan PC* 6000 spin/sec, dan adaptor 1 V, 4,5A. Jendela kaca untuk observasi dan fan PC 6000 spin/sec sebagai *exhaust fan* udara dan berakhir dengan penyaring HEPA sebagai pengaman udara terakhir yang keluar. Gambar kreasi alumunium sebagai alternatif pengganti kabinet *biosafety* kelas I ditunjukkan pada Gambar 9.

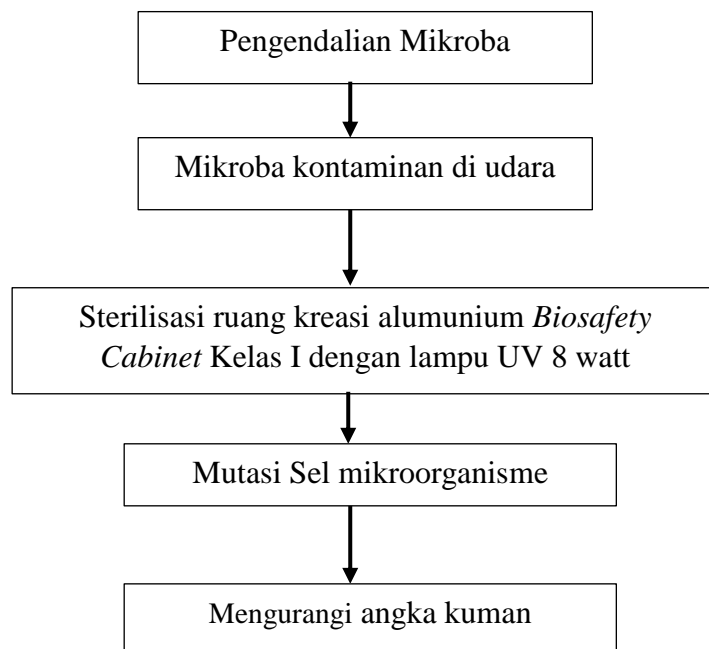




Gambar 9. Kreasi alumunium sebagai alternatif pengganti kabinet *biosafety* kelas I.

B. Kerangka Teori

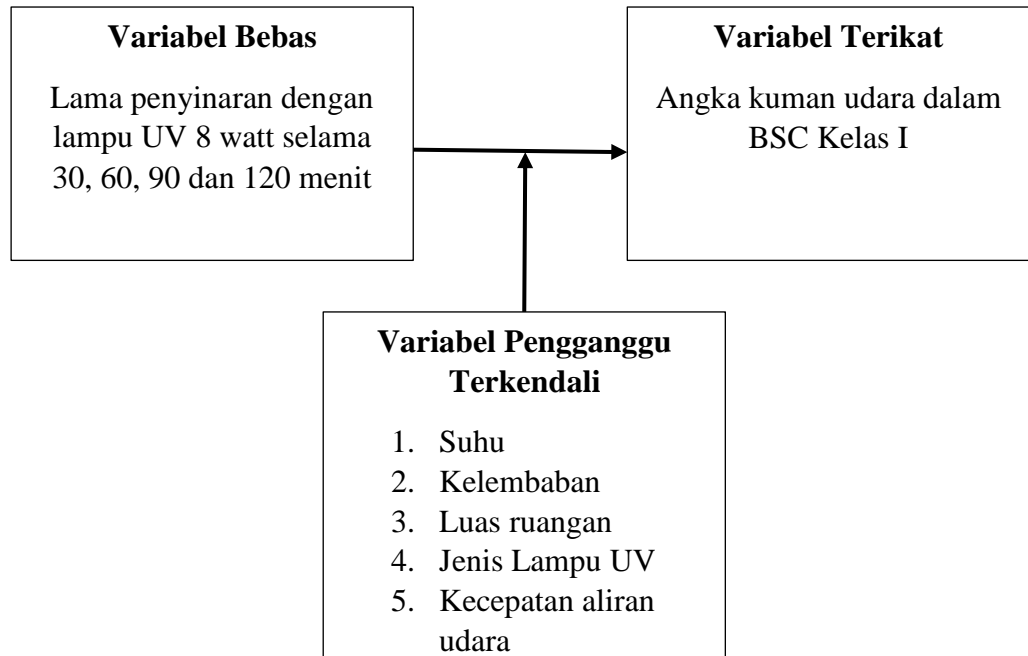
Kerangka teori ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Kerangka Teori

C. Kerangka Konsep

Kerangka konsep ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Kerangka Konsep

D. Hipotesis

Ada pengaruh lama penyinaran lampu UV 8 watt terhadap angka kuman udara dalam ruang *Biosafety Cabinet* (BSC) Kelas I.