



REKAYASA BIOSAFETY CABINET MENGGUNAKAN STERILISATOR ULTRAVIOLET DAN EVAPORASI CAIRAN DESINFEKTAN

Sigit Widadi^a*

^a Program Studi Teknologi Elektro-medis

Program Vokasi, swdskom@gmail.com, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

*correspondence

ABSTRACT

This article presents the results of the engineering research on the Biological Safety Cabinet (BSC) which is commonly used in medical sample laboratories to protecting the workers and ensure that no dangerous infectious agent material escapes from the cabinet. This research used a combination technique of ultraviolet (UV) sterilization and evaporation of disinfectant liquid, the duration and discharge of each method can be controlled. The selection of UV light source power, air circulation flow and disinfectant liquid rate takes into account of the size of the BSC work space. The method used in this research is integrating the ATmega328P module, anemometer sensor module, mist maker module and solid state relay (SSR) module. The test of parameters used are the level of UV light radiation, air circulation discharge and the relative humidity level of air exposed to disinfectant liquid mist in the BSC work space. Testing is carried out by taking data for each parameter. Next, the test data is analyzed based on literature references to determine of he feasibility and classification of the engineered BSC.

Keywords: Biological Safety Cabinet, Mist Maker, Ultraviolet, Disinfection.

Abstrak

Artikel ini menyajikan hasil penelitian rekayasa Biological Safety Cabinet (BSC) yang lazim digunakan di laboratorium sampel medis untuk melindungi pekerja dan memastikan tidak ada material agen infeksius berbahaya yang terlepas dari cabinet. Penelitian ini menggunakan teknik kombinasi sterilisasi ultraviolet (UV) dan evaporasi cairan desinfektan yang masing-masing metode dapat diatur durasi dan debitnya. Pemilihan daya sumber cahaya UV, debit sirkulasi udara dan laju cairan desinfektan mempertimbangkan ukuran ruang kerja BSC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mengintegrasikan modul ATmega328P, modul sensor anemometer, modul mist maker dan modul solid state relay (SSR). Parameter uji yang digunakan yaitu tingkat radiasi sinar UV, debit sirkulasi udara dan tingkat kelembaban relatif udara terpapar kabut cairan desinfektan di ruang kerja BSC. Pengujian dilakukan dengan mengambil data setiap parameter. Selanjutnya data pengujian dianalisa berdasarkan rujukan pustaka untuk mengetahui kelayakan dan klasifikasi BSC hasil rekayasa.

Kata Kunci: biological safety cabinet, mist maker, ultraviolet, disinfeksi.

1. PENDAHULUAN

Laboratorium virologi dan laboratorium patologi diagnostik merupakan area yang sangat beresiko bagi petugas kesehatan terhadap penularan penyakit yang disebabkan oleh virus dan bakteri[1][2]. Penulis membuat BSC portable class II type B2 karena tipe ini cocok untuk pekerjaan dengan agen biologis yang membutuhkan tingkat keamanan 1, 2, dan 3. Cocok untuk bekerja dengan bahan kimia beracun dan radionuklida volatil.

Contoh agen biologis yang cocok dan aman diteliti menggunakan BSC class II type B2 antara lain : Anthrax, HIV, SARS, Tuberculosis, virus cacar, thypus dan avian influenza. BSC portable class II type B2

ini menggunakan tekanan udara negatif artinya tekanan udara di dalam cabinet lebih rendah dari pada tekanan udara di luar cabinet. Tujuan menggunakan tekanan udara negatif agar saat pintu dibuka, udara yang berpotensi mengandung biohazard dari dalam cabinet tidak akan mengkontaminasi ke luar area yang tidak terkontaminasi. Tingkat risiko di tempat tersebut lebih tinggi dibandingkan tempat lain karena laboratorium merupakan ruang tertutup yang di dalamnya terdapat sampel infeksius, bahan beracun dan kandungan gas berbahaya yang sedang diobservasi[3].

Pencemaran udara di dalam ruang tertutup menjadi tempat yang beresiko tinggi karena peningkatan akumulasi jumlah pertumbuhan virus dan bakteri terjadi lebih cepat bila diukur berdasarkan volume ruang dan tingkat pertumbuhannya sehingga berbanding lurus dengan tingkat risiko paparan terhadap petugas kesehatan yang sedang bertugas di dalam laboratorium[4].

Penelitian ini merancang alat BSC. Fungsi BSC yaitu untuk mengurangi risiko paparan terhadap agen biologis berbahaya. BSC kelas II merupakan standar internasional yang dirancang untuk memberikan perlindungan untuk operator, sampel kerja, serta lingkungan kerja. BSC kelas II memiliki karakteristik-karakteristik khusus, termasuk[5]:

- 1) Perlindungan Operator: BSC ini menyediakan perlindungan untuk operator melalui aliran udara dari ruang kabinet, menjaga operator dari paparan langsung ke sampel kerja atau agen berbahaya.
- 2) Perlindungan Sampel: Udara yang disirkulasikan dalam kabinet membersihkan sampel dan mencegah kontaminasi silang antar-sampel.
- 3) Perlindungan Lingkungan: BSC mengatur aliran udara sehingga agen biologis berbahaya tidak terlepas ke lingkungan luar.
- 4) Filter HEPA: Udara yang mengalir melalui kabinet melewati filter HEPA (High Efficiency Particulate Air) untuk menyaring partikel-partikel kecil, termasuk bakteri dan virus, sehingga mengurangi risiko kontaminasi.
- 5) Pengaturan Aliran Udara: BSC kelas II tipe A menggunakan sistem aliran udara yang diatur dengan baik, termasuk udara yang disirkulasikan kembali ke ruang kerja atau dibuang ke luar ruangan.

BSC kelas II tipe A cocok untuk pekerjaan laboratorium yang melibatkan manipulasi bahan beracun, infeksius, atau sensitif pada level risiko yang rendah hingga sedang[6]. Namun, perlu dipahami bahwa penggunaan BSC harus sesuai dengan prosedur yang tepat, termasuk penggunaan peralatan pelindung diri dan prosedur keamanan yang ditetapkan[7].

Rancangan BSC memanfaatkan sinar UV, fungsi sensor aliran udara, pengaturan tegangan pada sistem sirkulasi dan mikroprosesor sebagai pengolah data menjadi informasi bagi operator untuk mengatur laju sirkulasi udara. Pengujian fungsi BSC berdasarkan parameter laju aliran udara yang menjadi dasar perhitungan laju sterilisasi udara dalam ruang tertutup karena laju aliran udara mempengaruhi laju disinfeksi virus dan bakteri di udara[8].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Terdapat beberapa type alat BSC yakni ada yang dilengkapi dengan lampu UV, dan ada juga yang tidak dilengkapi lampu UV. BSC yang tidak di lengkapi dengan lampu UV kondisi fan harus selalu menyala bahkan saat mesin tidak digunakan *Off*. Hal ini dilakukan untuk memastikan area kerja cabinet tetap steril. BSC yang dilengkapi dengan lampu UV harus dinyalakan minimal 30 menit sebelum menggunakan alat. Sebelum operator menggunakan alat untuk proses kerja, lampu UV harus dimatikan terlebih dahulu namun fan harus posisi *On*.

BSC kelas II memiliki karakteristik-karakteristik khusus, termasuk[5]:

- 1) Perlindungan Operator: BSC ini menyediakan perlindungan untuk operator melalui aliran udara dari ruang kabinet, menjaga operator dari paparan langsung ke sampel kerja atau agen berbahaya.
- 2) Perlindungan Sampel: Udara yang disirkulasikan dalam kabinet membersihkan sampel dan mencegah kontaminasi silang antar-sampel.
- 3) Perlindungan Lingkungan: BSC mengatur aliran udara sehingga agen biologis berbahaya tidak terlepas ke lingkungan luar.
- 4) Filter HEPA: Udara yang mengalir melalui kabinet melewati filter HEPA (High Efficiency Particulate Air) untuk menyaring partikel-partikel kecil, termasuk bakteri dan virus, sehingga mengurangi risiko kontaminasi.
- 5) Pengaturan Aliran Udara: BSC kelas II tipe A menggunakan sistem aliran udara yang diatur dengan baik, termasuk udara yang disirkulasikan kembali ke ruang kerja atau dibuang ke luar ruangan.

BSC kelas II tipe A cocok untuk pekerjaan laboratorium yang melibatkan manipulasi bahan beracun, infeksius, atau sensitif pada level risiko yang rendah hingga sedang[6]. Namun, perlu dipahami bahwa penggunaan BSC harus sesuai dengan prosedur yang tepat, termasuk penggunaan peralatan pelindung diri dan prosedur keamanan yang ditetapkan[7].

Rancangan BSC memanfaatkan sinar UV, fungsi sensor aliran udara, pengaturan tegangan pada sistem sirkulasi dan mikroprosesor sebagai pengolah data menjadi informasi bagi operator untuk mengatur laju sirkulasi udara. Pengujian fungsi BSC berdasarkan parameter laju aliran udara yang menjadi dasar perhitungan laju sterilisasi udara dalam ruang tertutup karena laju aliran udara mempengaruhi laju disinfeksi virus dan bakteri di udara[8].

Klasifikasi pada BSC ada dua yaitu BSC kelas 1 dan BSC kelas II. BSC kelas 1 dirancang untuk melindungi operator dari biohazard. Cara kerja dari BSC kelas 1 melalui aliran sirkulasi udara yang disaring menggunakan HEPA filter untuk menyaring udara yang terkontaminasi. Pada alat BSC kelas 1 hanya terdapat satu HEPA filter pada bagian out flow. Jadi BSC kelas 1 tidak begitu banyak untuk jaminan produk. Sirkulasi udara pada BSC kelas 1 ini adalah tekanan udara negatif yang memiliki percepatan sebesar 0,38 m/s. Bekerja dengan bahan kimia beracun dan radionuklida nonvolatil cukup menggunakan BSC kelas I.

BSC kelas 2 digunakan untuk melindungi operator dan juga melindungi material sampel. BSC kelas 2 memiliki dua buah HEPA filter pada bagian out flow dan down flow. Pada BSC kelas 2 ini udara luar masuk melalui kisi – kisi bawah kemudian udara dialirkan menuju filter out flow. Sedangkan filter down flow digunakan untuk menyaring udara luar pada bagian atas sebelum memasuki ruang kerja alat. BSC kelas 2 aman Untuk meneliti senyawa infeksius yang termasuk dalam kelompok resiko 2 dan 3. BSC kelas 2 terdiri dari 4 tipe, yaitu tipe A1, A2, B1, dan B2.

Penelitian ini berupaya mengintegrasikan proses disinfeksi standar BSC menggunakan sinar UV dan kabut cairan disinfektan untuk mekasimalkan perlindungan pekerja laboratorium. Penambahan *mist maker* sebagai evaporator bertujuan untuk membantu optimalisasi proses pembersihan partikel-partikel *biohazard* yang tidak terjangkau oleh sinar UV. Hasil kabut dari *mist maker* ini akan disalurkan melalui selang menuju bagian ruang kerja alat BSC. Adapun sistem pengaman untuk *mist maker* yaitu komponen ini tidak akan bekerja ketika pintu depan ruang kerja BSC dalam kondisi terbuka.

3. METODOLOGI PENELITIAN

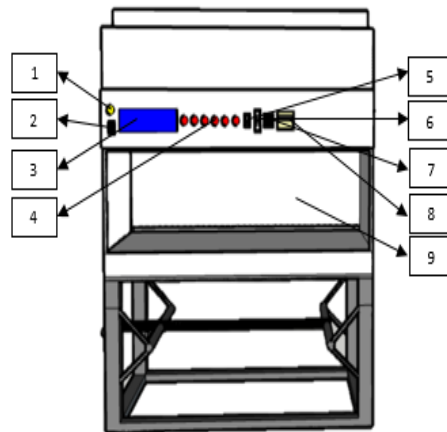
Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tahap perancangan proses kerja BSC, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, dan pengambilan data untuk menguji alat. Perancangan prinsip kerja BSC ditunjukkan oleh Gambar 1 dalam wujud diagram alir proses.



Gambar 1. Rancangan Proses Kerja BSC

Berdasarkan Gambar 1, ketika alat dihidupkan maka sistem mendapatkan tegangan listrik 220V/AC. *Dimmer* AC diputar agar diperoleh kecepatan putaran kipas penyedot udara masuk ke alat sesuai tegangan yang dipilih. Kipas inilah yang akan menghasilkan sirkulasi aliran udara. Sensor anemometer mendeteksi laju aliran udara untuk diolah nilai aliran udaranya oleh mikrokontroler menggunakan fungsi *analog to digital*. Selanjutnya nilai tersebut dikirimkan ke LCD untuk ditampilkan sebagai informasi nilai laju aliran udara.

Desain fisik BSC dijelaskan menggunakan diagram mekanik yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dimensi fisik ruang kerja BSC : panjang 0.6 m, lebar 0.4 m, tinggi 0.4 m.



Gambar 2. Rancangan Mekanik BSC

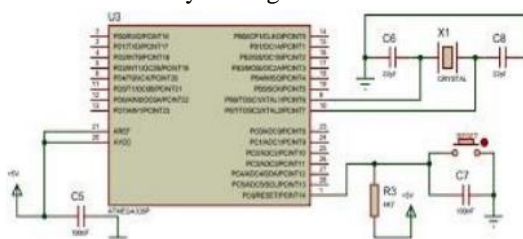
Keterangan bagian alat :

- 1) Lampu indikator, sebagai indikator ketika BSC menyala
- 2) Tombol *on / off*, untuk menghidupkan atau mematikan BSC.
- 3) LCD, menampilkan informasi laju aliran udara masuk ke ruang BSC.
- 4) Push button dan saklar, dari kiri ke kanan yaitu :
 - a. Tombol *up*, untuk memilih mode lama penyinaran sinar UV.

- b. Tombol *down*, untuk memilih mode lama penyinaran.
 - c. Tombol *start*, untuk memulai sterilisasi pada cabinet.
 - d. Tombol *restart*, untuk riset/mengulang kerja alat.
 - e. Tombol timer *mist maker*, untuk menghidupkan *mist maker* dengan timer 5 menit.
 - f. Tombol kipas DC, untuk menghidupkan kipas DC bagian atas. Kipas ini berfungsi sebagai peniup udara keluar.
- 5) Tombol lampu TL, untuk menghidupkan atau mematikan lampu.
 - 6) Tombol pintu, untuk membuka atau menutup pintu BSC.
 - 7) Dimmer AC, untuk mengatur kecepatan putaran kipas penyedot udara masuk ke ruang BSC.
 - 8) Hour meter, untuk menghitung lama waktu lampu UV bekerja.
 - 9) Ruang kerja BSC, untuk meneliti sampel yang beresiko mengandung biohazard.

Pada penelitian ini, perancangan perangkat keras yaitu proses merancang sirkuit elektronik. Modul perangkat keras yang digunakan yaitu rangkaian minimum sistem, rangkaian driver, dan modul LCD.

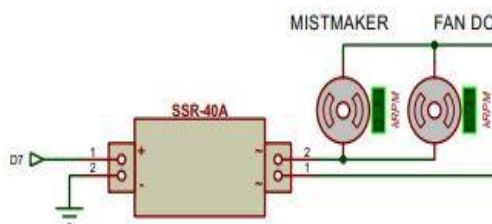
Rangkaian minimum sistem digunakan sebagai pengolahan data dari sensor dan perintah yang akan diberikan ke rangkaian pengendali modul lainnya. Rangkaian minimum sistem ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Rancangan Minimum Sistem ATmega328P

Rangkaian minimum sistem ini dirancang menggunakan IC ATmega328P yang mempunyai pin *input/output* digital. Enam pin pertama digunakan sebagai *output* modulasi sinyal (PWM), 6 pin berikutnya dapat digunakan sebagai input analog dan 8 pin digital dapat digunakan sebagai input ke rangkaian.

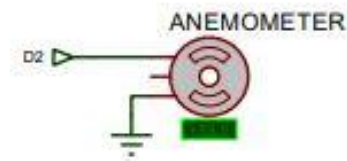
Rancangan rangkaian pengendali *SSR DC to DC* untuk menghidupkan *mist maker*. Sistem pengendali berfungsi untuk membantu optimalisasi proses sterilisasi di dalam BSC[9]. Rangkaian pengendali ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Modul Kedali Mist Maker

Tombol *mist maker* terhubung dengan pin digital 7 jika tombol saklar ditekan. Selanjutnya SSR mendapat logika *pulse high* dan akan mengirimkan tegangan ke *mist maker* dan kipas *fogger*.

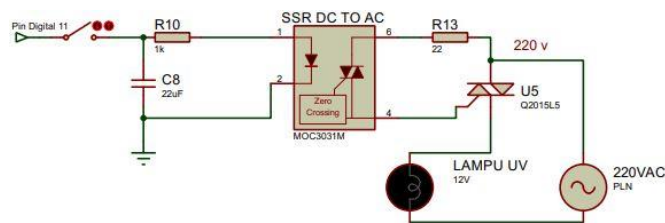
Rancangan sirkuit sensor laju aliran udara menggunakan modul anemometer. Pada modul ini terdapat 3 kabel yaitu *vcc*, *ground* dan pin digital. Rangkaian modul laju aliran udara dengan sensor anemometer ditunjuk pada Gambar 5.



Gambar 5. Modul Sensor Anemometer

Ketika kipas penghisap udara berputar maka menghasilkan sirkulasi aliran udara sehingga tiupan udara menggerakkan baling – baling pada sensor anemometer turut berputar[10]. Nilai jumlah putaran per satuan waktu dikirim ke mikrokontroler dan dikonversi menjadi nilai laju aliran udara.

Rancangan modul pengendali lampu *UV* pada penelitian ini digunakan untuk mengendalikan waktu penyinaran agar paparan sinar *UV* dapat berfungsi sebagai disinfeksi virus dan bakteri secara efektif[11]. Gambar 6 menunjukkan rancangan sirkuit pengendali lampu *UV*.



Gambar 6. Rancangan Pengendali Lampu UV

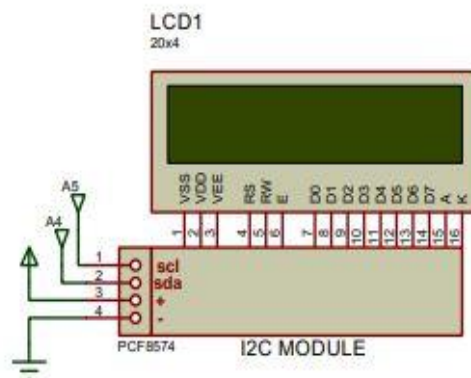
Rancangan pengendali lampu *UV* menggunakan *SSR* agar durasi paparan sinar *UV* sesuai konstanta waktu yang sudah ditentukan[12]. Gambar 7 menunjukkan kode program timer sebagai pengendali lampu *UV*.

```
void action3 ()
{
  unsigned long timerbaru3 = millis();
  if (timerbaru3 - timer3 >= 1000)
    timer3 = timerbaru3;
  if (detik > 0)
  {
    detik--;
  }
  if (menit > 0 && detik == 0)
  {
    menit--;
    detik = 59;
  }
  if (jam > 0 && menit == 0)
  {
    jam--;
    menit = 59;
  }
  if ( jam == 0 && menit == 0 && detik == 0)
  {
    jam = 0;
    menit = 0;
    detik = 0;
    digitalWrite(11, LOW);
  }
}
```

Gambar 7. Kode Program Pengendali Lampu UV

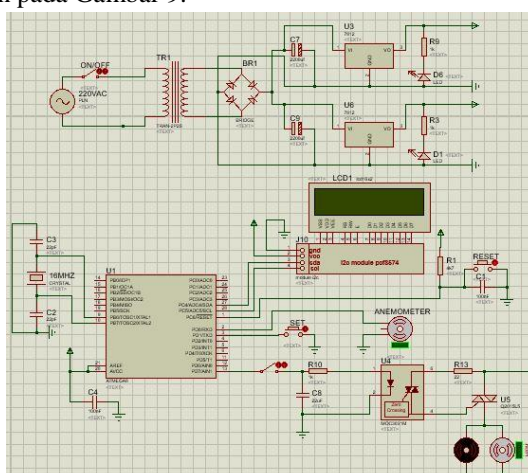
Berdasarkan kode program pada Gambar 7, pengaturan berdasarkan digit menit sehingga dilakukan konversi angka menit ke detik dan menit ke angka jam. Kode program ini memanfaatkan bilangan counter 0 – 59 sebagai pencacah detik ke angka menit dan dari angka menit ke angka jam.

Pada penelitian ini, rancangan sirkuit display akan digunakan untuk menampilkan informasi dari BSC. Rancangan sirkuit ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Modul Sirkuit Display LCD 20x4

Sirkuit display ini menggunakan LCD karakter 20x4 yang dapat menampilkan 80 karakter. Pada umumnya LCD 20x4 menggunakan input tegangan +5V DC dari rangkaian catu daya dan menggunakan mode I2C. Penggunaan modul ini memerlukan pengaturan mode karakter, posisi baris dan kolom. Rancangan sirkuit secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rancangan Sirkuit Keseluruhan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang dapat ditunjukkan pertama kali dari penelitian ini adalah wujud hasil rekayasa BSC. Gambar 10 menunjukkan hasil rekayasa BSC tersebut. Pengujian fungsi dan kelayakan BSC hasil penelitian dilakukan dengan mengambil data dari alat ukur dan dianalisis menggunakan referensi pustaka.



Gambar 10. Wujud Hasil Rekayasa BSC

Parameter uji meliputi kekuatan radiasi *UV* untuk disinfeksi permukaan benda di dalam ruang kerja BSC, debit sirkulasi udara dari luar ke ruang kerja BSC berdasarkan pengukuran tegangan listrik AC pada kipas tersebut dan kelembaban udara relatif akibat evaporasi cairan desinfektan oleh modul *mist maker*. Pengambilan data tingkat radiasi *UV* menggunakan alat *UV Light Meter* dan diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Radiasi *UV*

Pengukuran	UV Light Meter ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
1	308
2	309
3	309
4	308
5	308
6	308
Rata-rata	308.3
Toleransi	$\geq 40 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

Berdasarkan Tabel 1, rata-rata paparan *UV* sebesar $308.3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ atau sekitar 308.2×10^{-8} Joule. Bakteri TBC relatif resisten terhadap sinar *UV* dibandingkan dengan beberapa bakteri lainnya. Mereka menemukan bahwa dosis *UV* yang diperlukan untuk mengurangi populasi TBC sebesar 90% yang disebut sebagai "D90", adalah sekitar $300 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ [13].

Pengambilan data nilai tegangan kipas penyedot udara luar masuk ke ruang kerja BSC sebanyak 10 kali memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Kipas Sedot Udara Ruang BSC

No	Tegangan (VAC)	Debit Udara (m^3/s)
1	209	0,043
2	209	0,043
3	209	0,048
4	209	0,052
5	209	0,052
6	209	0,043
7	209	0,048
8	209	0,052
9	209	0,043

10	209	0,048
Rata-rata	209	0,047

Berdasarkan Tabel 2, debit udara rata-rata sebesar 0.047 m³/s dapat dilakukan perhitungan matematis sederhana bahwa sirkulasi udara dalam ruang kerja BSC dengan volume 0.096 m³ dengan siklus pertukaran udara selama 2 detik.

Pengambilan data pada proses sterilisasi udara di ruang kerja BSC dilakukan dengan mengukur volume cairan desinfektan yang dievaporasi untuk durasi 5 menit sebanyak 10 kali pengambilan data. Data yang diperoleh disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Debit Cairan Desinfektan Mist Maker Ruang Kerja BSC

Pengukuran Ke-	Waktu (menit)	Volume Desinfektan (ml)
1	5	150,02
2	5	150,02
3	5	150,01
4	5	150,03
5	5	150,01
6	5	150,01
7	5	150,03
8	5	150,03
9	5	150,01
10	5	150,03
Rata - rata	5	150,02
Simpangan		0,02
Error (%)		0,4

Berdasarkan Tabel 3, terjadi evaporasi dengan penambahan cairan desinfektan di ruang kerja BSC sebanyak 30 mL tiap menit sehingga terjadi peningkatan kelembaban udara relatif pada ruang tersebut[14]. Untuk menghitung kelembaban relatif udara dalam ruangan, perlu diketahui jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung oleh udara pada suhu dan volume tertentu, serta jumlah aktual uap air yang ada di udara[15]. Oleh karena itu perlu dihitung lebih dahulu jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung oleh udara pada suhu 28°C dan volume ruangan 1 kubik. Hukum gas ideal dapat digunakan untuk perhitungan ini. Hukum gas ideal adalah[16]:

$$PV=nRT \quad (1)$$

Di mana:

P adalah tekanan udara dalam atmosfer.

V adalah volume udara dalam liter.

n adalah jumlah mol gas.

R adalah konstanta gas umum (0.0821 liter · atm/mol · K).

T adalah suhu udara dalam Kelvin.

Jika volume udara (V) adalah 1 kubik, atau 1000 liter. Selanjutnya suhu dikonversi ke dalam skala Kelvin:

$$T(K)=28+273.15 \quad (2)$$

$$T(K)=301.15K \quad (3)$$

Dengan asumsi tekanan udara sekitar 1 atm (atau 1013.25 hPa). Nilai tekanan dan volume ini digunakan untuk mencari jumlah mol uap air pada keadaan maksimum, sehingga diperoleh nilai kelembaban relatif sebesar 82% berdasarkan jumlah aktual uap air terhadap jumlah maksimal uap air pada suhu 28°C menggunakan rumus

kelembaban relatif. Pada kondisi kelembaban relatif seperti ini, sebagian besar molekul udara berikatan dengan molekul uap air dan dapat dirasakan kelembabannya menggunakan indera kulit manusia[17].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data tingkat paparan radiasi dari Tabel 1, analisis data debit sirkulasi udara dari dan ke ruang kerja BSC dari data di Tabel 2 dan analisis data dari Tabel 3 tentang tingkat kelembaban udara relatif akibat evaporasi cairan disinfektan maka dapat disimpulkan bahwa rekayasa BSC pada penelitian ini mampu menjaga kondisi steril ruang laboratorium medis dari bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (*M. tuberculosis*) sehingga BSC ini dapat digolongkan dalam perangkat anti infeksi Class II Type B.

Ucapan Terima Kasih

Kepada seluruh teknisi dan laboran Program Studi Teknologi Elektro-medis Universitas Muhammadiyah penulis mengucapkan terima kasih atas partisipasinya dalam menyediakan material dan bahan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jayamani, C. C. Janardan, S. V Appan, and K. Kathamuthu, "A Practical Tool for Risk Management in Clinical Laboratories," *Cureus*, vol. 14, no. 12, 2024, doi: 10.7759/cureus.32774.
- [2] T. Satrio and M. R. Fuadi, "The Risk Assessment of Clinical Pathology Laboratory in Universitas Airlangga Hospital Surabaya," *DOSH Open Access*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [3] A. Aita, A. Padoan, G. Antonelli, L. Sciacovel, and M. Plebani, "Patient safety and risk management in medical laboratories: theory and practical application," *JLPM*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [4] H. Du, W. Xu, Z. Zhang, and K. Han, "Bacterial Behavior in Confined Spaces," *PubMed Cent.*, 2021, doi: 10.3389/fcell.2021.629820.
- [5] ESCO Scientific, *A Guide to Biosafety & Biological Safety Cabinets*, 1st ed. Changi Singapore: Esco Micro Pte. Ltd., 2023.
- [6] G. Miring'u, M. B. Mwebia, B. Muriithi, and E. W. Apondi, "Knowledge and Practices Regarding Usage of Biological Safety Cabinets," *J. ABSA Int.*, vol. 1, no. 6, 2024, doi: 10.1177/1535676016685790.
- [7] G. A. Jagtap, A. Badge, M. G. Kohale, and R. S. Wankhade, "The Role of the Biosafety Cabinet in Preventing Infection in the Clinical Laboratory," *PubMed Cent.*, vol. 15, no. 12, 2023, doi: 10.7759/cureus.51309.
- [8] L. Utomo, Marfin, and J. Abidin, "KONTROL BIOSAFETY CABINET MENGGUNAKAN PLC OUTSEAL," *J. Electr. Power, Instrum. Control*, vol. 6, no. 2, 2023, doi: 10.32493/epic.v6i2.34609.
- [9] A. M. Yamlean, W. Dirgantara, E. Sonalitha, and Subairi, "Pengaturan Timer Penyemprotan Desinfektan Bilik Sterilisasi Menggunakan SISO Fuzzy," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 5, no. 2, 2020, [Online]. Available: <https://eprints.unmer.ac.id/id/eprint/956/1/566-1496-3-PB.pdf>.
- [10] R. Samsinar, R. Septian, and Fadliondi, "Alat Monitoring Suhu Kelembaban dan Kecepatan Angin dengan Akuisisi Database Berbasis Raspberry Pi," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [11] E. D. Kurniawan, M. Riswan, M. Syahrian, and A. Al Ba'id, "Development of Uniform Ultraviolet Light Source using Light-Emitting Diode (LED) Array for Photolithography System with Controllable Exposure Dose and Duration," 2019, doi: 10.1109/ICRAMET47453.2019.8980449.
- [12] E. Kustiawan, "Meningkatkan efisiensi peralatan dengan menggunakan solid state relay (ssr) dalam pengaturan suhu pack pre-heating oven (pho)," *J. STT YUPPEN TEK*, vol. 9, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/275821-meningkatkan-efisiensi-peralatan-dengan-117b8c85.pdf>.
- [13] R. A and G. Palanisamy, "Applied and Environmental Microbiology Journal: A Bibliometric Perception," *Library Philosophy and Practice (e-journal)*. Scholarly Publishing Commons, 2023, [Online]. Available: <http://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/1861>.
- [14] A. N. Sterlyagov, M. I. Nizovtsev, V. Y. Borodulin, and V. N. Letushko, "The effect of air relative humidity on the intensity of evaporating of water-ethanol droplets," in *Siberian Thermophysical Seminar (STS 36) 2020*, 2020, doi: :10.1088/1742-6596/1677/1/012098.
- [15] M.-C. Ness, "Indoor relative humidity: relevance for health, comfort, and choice of ventilation system," 2022, doi: 10.4995/VIBRArch2022.2022.15237.
- [16] I. K. Mahardika *et al.*, "Analisis Hukum Gay-Lussac Tentang Fluida Pada Kaleng Parfum (Dalam Kajian Studi Literatur)," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 9, no. 3, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7624719>.

- [17] D. PERMATASARI, “Pengaruh Suhu Dan Kelembaban Udara Terhadap Kejadian Dermatofitosis Di Poliklinik Kulit Dan Kelamin RSUD Dr.Soediran MS Wonogiri,” Surakarta, 2010.