

Rancang Bangun Alat Pembersih Udara Dalam Ruang Tertutup Dengan Metode Ionisasi

Wrestina Nasita Melo⁽¹⁾, Sherwin Sompie⁽²⁾, Elia Kendek Allo⁽³⁾

(1)Mahasiswa, (2)Pembimbing 1, (3)Pembimbing 2

d.lilrascal@yahoo.co.id⁽¹⁾; sherwinsompie@gmail.com⁽²⁾; Kendekallo@ymail.com⁽³⁾

Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115

Abstract - Nowadays, global warming becomes a trending topic. The atmosphere changes into warmer because of the increasing of greenhouse concentration which is caused by burning process. By that case, smoke as an indicator of air pollution has to be more accounted. Too much pollutant in a room can cause health problems, such as respiratory problems. Because of that, an air conditioner that can waste and reduce the pollutant amount of smoke had been made.

Air cleaner is activated by CO, CO₂ and temperature parameter. When controller detects exceeded CO and CO₂ (35 ppm for CO and 700 pm for CO₂), the air cleaner becomes activated. Smoke is threw away by an exhaust fan then it is ionized in ionization room which 4,4 kV voltage is exposed between two electrodes. In temperature controlling system, a DC fan is used to release the heat of peltier's cold side transferred to cold sink.

The testing proves that ionization method can totally omit smog while the CO value reduced up to 35,329% of 9.210 ppm and CO₂ value reduced up to 19,148% of 23.595 ppm after 4 minutes treatment. In air coolant system, it results that peltier can reduce the room temperature up to 0,91°C.

The conclusion is the system made can work well. So, it is expected to be used to reduce pollutant amount of smoke which is produced by household and industry considering industry as a greatest greenhouse contributor.

Keywords: CO, CO₂, ionization, peltier element, smoke.

Abstrak - Akhir-akhir ini, pemanasan global menjadi topik yang banyak dibicarakan. Iklim yang lebih panas ternyata disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di udara yang terjadi salah satunya karena proses-proses pembakaran. Terkait dengan masalah tersebut, asap yang dihasilkan dari proses pembakaran dan merupakan indikator pencemaran udara harus lebih diperhitungkan walaupun jumlahnya kecil. Konsentrasi polutan dari asap yang terlalu banyak di dalam ruangan dapat menimbulkan gangguan pernapasan dan permasalahan kesehatan lainnya. Oleh karena itu, dibuatlah alat yang dapat membuang asap yang ada dalam ruangan dan sekaligus dapat mengurangi kadar polutan dari asap.

Alat pembersih udara diaktifkan dengan parameter CO, CO₂ dan suhu dalam ruangan. Jika pengontrol mendeteksi kadar CO dan CO₂ yang melebihi batas, yaitu 35 ppm untuk CO dan 700 untuk CO₂, maka sistem penjernih ruangan akan aktif. Asap yang dikeluarkan dari dalam ruangan oleh *exhaust fan* akan diionisasi di ruang ionisator dimana terdapat dua elektroda yang dikenakan tegangan sebesar 4,4 kV di dalamnya. Untuk pengontrolan suhu ruangan, digunakan kipas DC yang akan membantu pelepasan kalor dari *coldsink* yang ditempelkan pada sisi dingin elemen peltier.

Hasil pengujian membuktikan bahwa penjernihan udara menggunakan metode ionisasi dapat menghilangkan kabut asap secara total. Setelah diionisasi selama 4 menit, reduksi kadar polutan asap mencapai 35,329% dari 9.210 ppm CO dan 19,148% dari 23.595 ppm CO₂. Pada sistem pendingin

ruangan, didapatkan hasil bahwa elemen peltier dapat mendinginkan ruangan hingga 0,91°C.

Dari hasil pengujian, disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik. Dengan begitu, diharapkan bahwa alat pembersih udara dapat digunakan ke depannya untuk mengurangi sifat polutan asap rumah tangga maupun perindustrian mengingat perindustrian adalah salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar.

Kata kunci: asap, CO, CO₂, elemen peltier, ionisasi.

I. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, pemanasan global menjadi topik yang banyak dibicarakan. Berbagai penelitian pun telah dilakukan untuk menelusuri penyebab terjadinya masalah yang telah mendatangkan keresahan di kalangan masyarakat tersebut. Hasilnya, iklim yang menjadi lebih panas ternyata disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO₂), di udara sehingga terjadilah efek rumah kaca. Pertumbuhan manusia yang sangat cepat, bertambah luasnya penggunaan lahan serta penggunaan bahan bakar fosil dan gas, sangat berpengaruh terhadap meningkatnya emisi CO₂.

Terkait dengan masalah di atas, pembakaran merupakan salah satu proses kimia yang menghasilkan senyawa CO₂. Selain CO₂, senyawa lain yang dihasilkan dari proses pembakaran dan juga cukup mengkhawatirkan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara adalah karbon monoksida (CO). Karbon dioksida dan karbon monoksida, keduanya sama-sama memiliki kerugian jika konsentrasinya telah melewati parameter yang telah ditentukan WHO (*World Health Organization*). Peningkatan konsentrasi CO dan CO₂ dapat menimbulkan pencemaran. Yang paling ringan adalah terjadinya iritasi pada indera makhluk hidup, kemudian timbulnya penyakit yang kronis dan kematian adalah kasus yang paling fatal.

Senyawa CO dan CO₂ yang terkandung dalam asap pembakaran, walaupun dalam jumlah sedikit, tetap perlu diperhatikan. Senyawa CO memang dapat teroksidasi menjadi CO₂ yang dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh tumbuhan berklorofil. Akan tetapi, seiring dengan berjalannya waktu dimana gedung-gedung dan perumahan makin bertambah dan jumlah ruang terbuka untuk tanaman dan pohon mulai berkurang, tentu saja tidak banyak CO₂ yang dapat diproses menjadi oksigen (O₂) yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup termasuk manusia untuk bernapas dan untuk mempertahankan vegetasi alami bumi sehingga suhu bumi dapat terkendali.

Dari berbagai masalah yang diungkapkan di atas, asap sebagai indikator pencemaran harus lebih diperhitungkan

lagi sekalipun jumlahnya kecil. Di dalam rumah tangga saja, kita dapat menghasilkan banyak CO dan CO₂, yaitu dari pembakaran di dapur maupun pembakaran rokok. Padahal, konsentrasi CO dan CO₂ yang terlalu banyak di dalam ruangan dapat menimbulkan gangguan pernapasan dan permasalahan kesehatan lainnya. Untuk itu, dibutuhkan suatu alat untuk membuang asap yang ada dalam ruangan dan sekaligus dapat mengurangi sifat polutan asap. Dengan dibuatnya alat ini, diharapkan zat pencemar yang kita hasilkan di dalam ruangan dapat berkurang sebelum tertimbun di udara bebas dan membahayakan banyak pihak.

II. LANDASAN TEORI

A. Zat Polutan Dalam Asap

Asap merupakan partikel padat atau cair dalam sebuah media gas yang dapat dilihat dan dihasilkan dari proses pembakaran. Asap terdiri dari karbon dan berbagai partikel lain yang terdapat di udara. Asap rumah tangga biasanya dihasilkan melalui proses memasak yang menggunakan kayu bakar, melalui rokok dan juga pembakaran sampah. Asap mengandung senyawa-senyawa yang dapat menyebabkan efek rumah kaca, antara lain gas CO (karbon monoksida) dan CO₂ (karbon dioksida).

Senyawa CO memiliki jangka waktu yang pendek di atmosfer karena melalui proses alami senyawa tersebut akan teroksidasi menjadi CO₂ dalam jumlah tertentu diperlukan untuk memenuhi kebutuhan fotosintesis tumbuhan hijau. Akan tetapi, dampak negatif dapat ditimbulkan oleh kedua senyawa tersebut jika jumlahnya telah berlebihan. Dalam kasus tersebut, CO dan CO₂ dapat menjadi polutan di atmosfer yang mengakibatkan penipisan lapisan ozon sehingga terjadi pemanasan global.

Konsentrasi gas CO dari beberapa sumber bervariasi. Konsentrasi alami gas CO di atmosfer yaitu 0,1 ppm (MOPITT) dengan konsentrasi sebesar 0,02 ppm di pedesaan. Menurut *US Environment protection Agency*, konsentrasi gas CO rata-rata di dalam rumah tanpa kompor gas bervariasi antara 0,5 – 5 ppm, sedangkan gas CO yang terukur di dekat kompor gas yaitu sebesar 5 – 15 ppm dan bahkan mencapai 30 ppm atau lebih jika kompor disetel lebih besar.^[13] Konsentrasi gas CO yang lebih besar terukur di tungku perapian (pembakaran kayu) yaitu 5.000 ppm, sedangkan emisi knalpot mobil yaitu 7.000 ppm dan paling banyak ditemukan pada asap rokok yang konsentrasinya mencapai 30.000 ppm.^[32]

Peningkatan konsentrasi CO₂ di udara dapat bersifat racun dan mengakibatkan keasaman air laut semakin meningkat sehingga merugikan organisme-organisme yang hidup di air. Paparan yang berkepanjangan dengan CO₂ dan dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan terjadinya berbagai gangguan pada fisik tubuh, seperti asidosis, racun pada jantung, peningkatan tekanan darah, sakit kepala, sesak napas, penurunan daya dengar dan penglihatan, kehilangan kesadaran dan lain-lain. Administrasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Amerika Serikat menyatakan bahwa paparan rata-rata CO₂ pada orang dewasa selama 8 jam sehari tidak boleh melebihi 5.000 ppm (0,5%), sedangkan batas maksimum pada anak-anak, orang tua dan orang yang memiliki masalah pada

sistem kardio (jantung dan paru-paru) secara signifikan lebih kecil. Paparan CO₂ yang melebihi 30.000 ppm (3%) dalam waktu 10 menit akan langsung berbahaya bagi kesehatan.^[27]

B. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan fisik manusia. Lebih dari itu, faktor tersebut menjadi standar akan kebutuhan fisik manusia. Apabila suhu udara di sekitar tubuh manusia lebih tinggi dari yang diperlukan tubuh, maka aliran darah pada permukaan tubuh atau anggota badan akan meningkat dan hal tersebut akan meningkatkan suhu kulit. Peningkatan suhu tersebut bermaksud untuk melepaskan lebih banyak panas secara radiasi dari dalam tubuh ke udara sekitar. Proses pengeluaran keringat akan terjadi pada suhu udara yang lebih tinggi lagi sebagai usaha pelepasan panas tubuh melalui proses penguapan. Sebaliknya, apabila suhu udara lebih rendah dari yang diperlukan tubuh, maka aliran darah ke permukaan tubuh atau anggota badan akan berkurang sehingga mendorong tubuh berusaha mengurangi pelepasan panas ke udara sekitar. Pada kondisi tersebut, otot-otot tubuh akan berkontraksi dan menggigil. Hal tersebut merupakan usaha terakhir tubuh untuk memperoleh tambahan panas melalui peningkatan proses metabolisme.

Standar kenyamanan suhu udara di Indonesia didasarkan pada standar ANSI (*American National Standards Institute*) dan ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc*) yaitu 22,5 – 26°C (disederhanakan menjadi 24°C pada rentang 22 – 26°C). Akan tetapi, melihat rata-rata penggunaan pengkondisi udara mengkonsumsi 10% energi lebih tinggi setiap penurunan suhu sebesar 1°C, standar tersebut dapat menyebabkan pemborosan energi (listrik). Oleh karena itu, diadakan penelitian lagi oleh Karyono (2001) dimana suhu nyaman yang diperoleh dari berbagai data adalah 26,4°C dengan batas suhu nyaman 24,9 – 28°C.

C. Catu Daya

Catu daya (*power supply*) berfungsi sebagai penyedia arus dan tegangan tertentu sesuai dengan kebutuhan beban berupa tegangan AC (*alternating current*) maupun DC (*direct current*) dari sumber listrik yang ada. Catu daya DC tersusun atas 4 bagian, yaitu trafo untuk mengubah besar tegangan dan arus sesuai yang dibutuhkan, penyearah (*rectifier*) arus, penapis (*filter*) dan regulator sebagai penstabil.

D. Sensor

Sensor berfungsi untuk mendeteksi serta mengukur suatu objek dengan mengubah besaran fisika (mekanis, magnetis, suhu dan sinar) ataupun kimiawi dari objek tersebut menjadi besaran listrik.

Sensor Gas

Sensor gas mendeteksi adanya gas di dalam suatu ruangan ataupun di lingkungan luar, tergantung dari kemampuan sebuah tipe sensor. Pada sistem pembersih udara ini, sensor gas yang digunakan ada 2 macam, yaitu

Frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit pulsa berdasarkan Gambar 7 dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \tag{3}$$

dimana: f = frekuensi (hertz)
 R_A = resistansi A (ohm)
 R_B = resistansi B (ohm)
 C = kapasitansi (farad)

H. Ionisasi

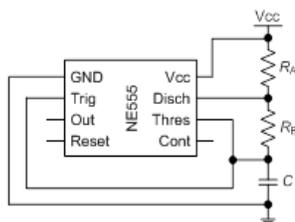
Ionisasi adalah proses fisik yang mengubah atom atau molekul menjadi ion melalui penambahan atau pelepasan partikel bermuatan seperti elektron dari atom atau molekul tersebut. Produk dari proses ionisasi adalah ion bermuatan negatif (anion, biasa juga disebut elektron bebas) dan ion bermuatan positif (kation).

Ada dua tipe proses yang penting dalam pembentukan ion, yaitu proses gas dan proses katoda.^[7] Melalui proses gas, muatan dibentuk dari molekul gas itu sendiri, sedangkan melalui proses katoda, muatan dibentuk dari struktur padatan elektroda yang kemudian dikenakan pada gas.

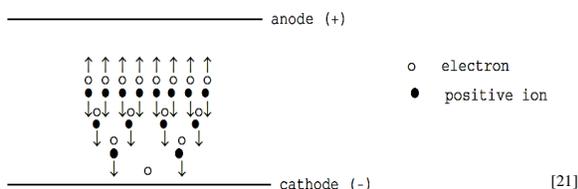
Salah satu peristiwa yang memungkinkan terjadinya ionisasi melalui proses katoda adalah dengan lucutan listrik (*electrical discharge*). Energi listrik yang lebih besar dari energi potensial ionisasi yang dilucuti dalam sebuah area di antara anoda dan katoda dapat mengakibatkan terjadinya pelepasan elektron sehingga arus listrik dapat mengalir di antara kedua elektroda tersebut. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektroda, maka ion dan elektron bebas semakin banyak terbentuk. Proses lucutan listrik dapat dilihat pada Gambar 8.

I. Flyback Transformer

Flyback transformer (FBT) adalah suatu jenis trafo yang dapat membangkitkan tegangan listrik yang tinggi dengan arus frekuensi yang tinggi pula. Besarnya frekuensi pulsa horizontal sekitar 10 – 50 kHz dimana arus pulsa berubah dengan sangat cepat pada bagian primer trafo sehingga tegangan tinggi sekitar 10 – 30 kV dapat diinduksikan pada bagian sekundernya.



Gambar 7. Rangkaian pembangkit pulsa menggunakan IC NE555.



Gambar 8. Proses lucutan listrik antara dua elektroda.

J. Lucutan Listrik Dalam Gas

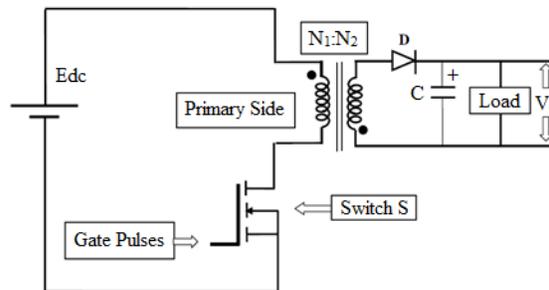
Lucutan listrik (*electrical discharge*) merupakan aliran listrik yang melalui gas karena adanya medan listrik sehingga menyebabkan terjadinya ionisasi. Selama pelucutan listrik terjadi, gas yang terionisasi tersebut semakin banyak dan memungkinkan terjadinya ionisasi berantai karena elektron-elektron yang dihasilkan dalam ionisasi dalam perjalanannya terus menumbuk atom dan molekul di sekitarnya dan pada akhirnya menumbuk katoda.^[23] Pada proses tersebut, udara (gas) yang normalnya bersifat sebagai isolator, dengan dikenai lucutan listrik, berubah menjadi konduktor yang baik.^[12] Gas kemudian berubah menjadi plasma yang terdiri dari elektron-elektron bebas yang kemudian berperan menjadi pembawa arus listrik.

K. Flyback Converter

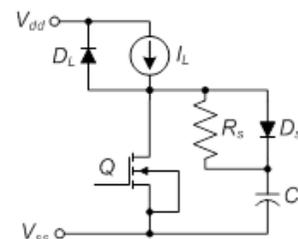
Flyback converter digunakan untuk mengkonversi baik tegangan AC/DC maupun tegangan DC/DC dengan isolasi galvanik antara bagian input dan output. Konverter jenis ini menggunakan transformator pulsa dalam pengoperasiannya. Gambar 9 menunjukkan rangkaian dasar dari *flyback converter*. Konverter yang memiliki karakteristik seperti *step-up/down converter* merupakan konverter daya tipe peralihan yang dioperasikan pada frekuensi tinggi. Oleh karena itu, diperlukan komponen sakelar elektronik (*electronic switch*) yang dapat mengontrol rasio periode waktu ON dengan cepat untuk mempertahankan tegangan keluaran.

L. RCD Snubber

RCD snubber adalah salah satu tipe *snubber* dimana rangkaian ini menekan kondisi kilasan saat sakelar elektronik dalam posisi *off* (*turn-off snubber*). Rangkaian ini memiliki kapasitor yang dan resistor yang diparalelkan dengan sakelar elektronik. *RCD snubber* seperti pada Gambar 10 menyediakan jalan lain untuk arus beban ketika sakelar *off*.



Gambar 9. Flyback converter.



Gambar 10. Rangkaian pensakelaran menggunakan RCD snubber.

Nilai C_s pada Gambar 10 ditentukan dengan persamaan 4.

$$C_s = \frac{I_L \times t_f}{2V_{dd}} \tag{4}$$

dimana: I_L = arus beban (ampere)
 t_f = falling time (s)
 V_{dd} = tegangan sumber (volt)

dan R_s ditentukan dengan persamaan 5.

$$R_s \leq \frac{t_{on}}{C_s \times I_L} \tag{5}$$

dimana t_{on} adalah selang waktu *turn-on* sakelar.

M. Mikrokontroler

Mikrokontroler (Gambar 11) merupakan sebuah *chip* tunggal yang dapat diprogram untuk mengatur proses kerja dari suatu perancangan alat. Mikrokontroler didesain untuk melaksanakan fungsi-fungsi suatu unit pemrograman sentral suatu komputer dan suatu sistem logika universal yang dapat diprogram pada sebuah *chip* silikon.

N. Elemen Peltier

Elemen peltier adalah komponen termoelektrik yang dapat menghasilkan fluks panas di antara sambungan dua tipe material yang berbeda. Komponen ini memiliki dua sisi yang berbeda sifat, yaitu sisi panas dan sisi dingin. Di antara kedua sisi tersebut, terdapat sejumlah termokopel yang saling dihubungkan. Apabila komponen dialiri arus, maka sisi dingin akan menjadi dingin dan sisi panas akan menjadi panas.

O. LCD 16x2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD 16x2 berarti LCD memiliki 2 baris dengan 16 karakter per baris. Perangkat ini terdiri dari 16 pin *out*.

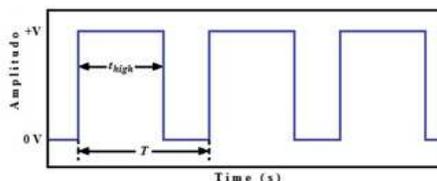
P. PWM

PWM atau *Pulse Width Modulation* adalah suatu teknik modulasi yang menyesuaikan lebar pulsa berdasarkan informasi sinyal modulator. Gambar 12 memperlihatkan sinyal periodik PWM dimana besar tegangan rata-rata ($V_{average}$) berbanding lurus dengan *duty cycle* yang dihitung menggunakan persamaan 6.

$$V_{average} = \frac{t_{high}}{T} \times \text{amplitudo} \tag{6}$$



Gambar 11. Mikrokontroler.



Gambar 12. Sinyal periodik dengan PWM.

Q. ADC

ADC atau *Analog to Digital Converter* adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk mengubah data yang kontinu terhadap waktu (analog) menjadi data yang diskrit terhadap waktu (digital). Proses ADC terdiri dari tiga tahap, yaitu pencuplikan, pengkuantisasian lalu pengkodean. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.

R. Motor Driver

Motor driver adalah rangkaian yang digunakan untuk mengatur kecepatan maupun arah putaran dari sebuah motor. *Motor driver* juga dimaksudkan untuk menguatkan tegangan dari input agar sesuai dengan tegangan kerja motor yang digunakan. Gambar 14 memperlihatkan IC L293D yang digunakan sebagai IC *motor driver*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

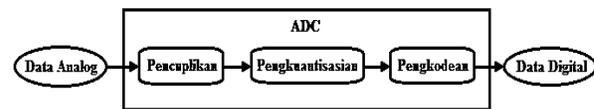
A. Lokasi Penelitian

Proses penelitian, perencanaan serta perancangan berlangsung di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado.

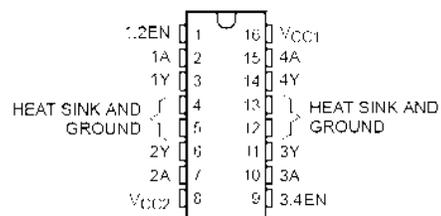
B. Perancangan Sistem

Sistem penjernih udara menggunakan perangkat tegangan tinggi untuk mengionisasi senyawa kimia polutan yang berlebih di udara, seperti CO dan CO₂. Untuk mendeteksi senyawa berlebihan tersebut, digunakan sensor yang sensitif terhadap senyawa CO dan CO₂. Hasil pengukuran dibandingkan melalui mikrokontroler dengan output putaran kipas DC 1 untuk membuang udara kotor ke ionisator dimana proses penjernihan udara dilakukan. Gambar 15 menggambarkan diagram blok dari sistem penjernih udara.

Pada sistem pengontrol suhu, suhu ruangan diukur oleh perangkat sensor suhu LM35. Hasil pengukuran suhu dibandingkan dengan suhu referensi pada mikrokontroler untuk mendapatkan *error* suhu. *Error* suhu kemudian dikirim ke mikrokontroler berupa informasi nilai PWM untuk memutar kipas DC 2. Gambar 16 memperlihatkan diagram blok dari pengontrolan suhu udara.



Gambar 13. Proses yang terjadi dalam ADC.



Gambar 14. Konfigurasi pin L293D.

[31]

Perancangan rangkaian pembangkit pulsa

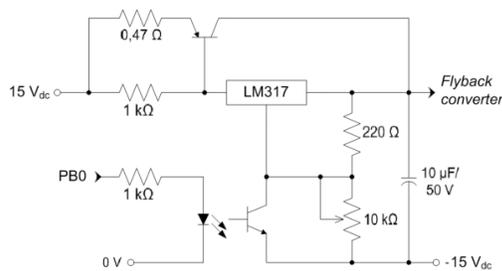
Rangkaian pembangkit pulsa berfungsi untuk membangkitkan pulsa dengan frekuensi tinggi sebagai frekuensi kerja untuk generator HV. Frekuensi yang dibutuhkan FBT untuk dapat beroperasi adalah 15 kHz. Gambar 22 memperlihatkan rangkaian pembangkit pulsa dengan frekuensi tinggi.

Perancangan rangkaian flyback converter

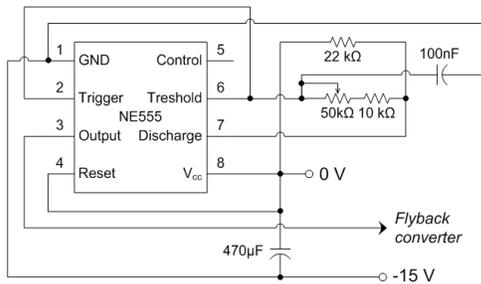
Rangkaian *flybak converter* digunakan untuk mengoperasikan FBT. Untuk sistem pensakelaran, digunakan MOSFET IRF460 yang diparalel dengan *RCD snubber* sebagai proteksi agar komponen tersebut tidak mudah rusak karena tegangan *spike* yang ditimbulkan karena proses pensakelaran. Rangkaian *flyback converter* diperlihatkan pada Gambar 23.

Perancangan fan driver

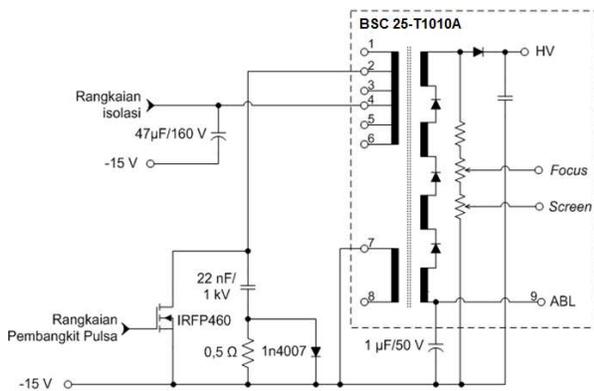
Untuk dapat mengatur kecepatan kipas angin, digunakan IC L293 sebagai *driver*. IC tersebut menerima sinyal PWM dari mikrokontroler dan menguatkannya sehingga kipas berputar dengan tegangan kerja antara 0 sampai 12 volt (tegangan output maksimal mikrokontroler yaitu 5 volt). Rangkaian *fan driver* ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 21. Sistem isolasi antara mikrokontroler dan *flyback converter*.



Gambar 22. Rangkaian pembangkit pulsa.



Gambar 23. Rangkaian *flyback converter*.

Perancangan sistem pendingin

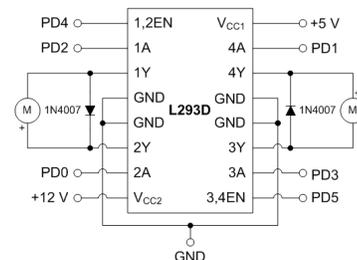
Sistem pendingin bekerja mula-mula dengan menekan sakelar yang berfungsi untuk mengoperasikan elemen peltier. Pada saat itu, optokopler mengirimkan sinyal logika *low* (0) ke mikrokontroler yang selanjutnya mengirimkan sinyal PWM ke IC L293D untuk menjalankan kipas DC 2. Sinyal PWM yang dikirim oleh mikrokontroler beragam sebanding dengan kenaikan suhu udara. Rangkaian sistem pendingin dapat dilihat pada Gambar 25.

Perancangan LCD driver dan sistem minimum mikrokontroler

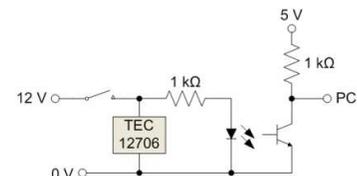
LCD 16x2 karakter yang digunakan sebagai penampil nilai sensor dihubungkan ke *port D* mikrokontroler (lihat Gambar 26), sedangkan rangkaian sistem minimum diperlukan untuk mengoperasikan mikrokontroler (lihat Gambar 27).

B. Perancangan Perangkat Lunak

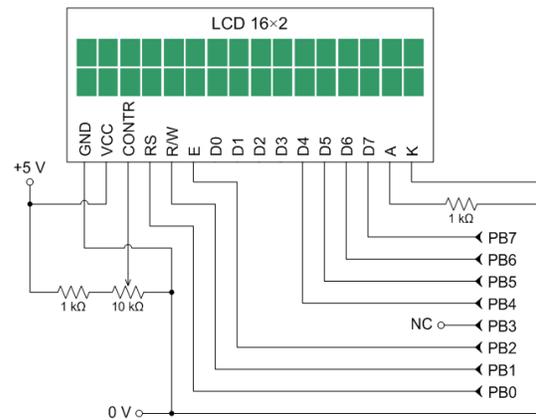
Diagram alir dari pemrograman sistem pembersih udara diperlihatkan pada Gambar 28. Alur pemrograman dimulai dari inialisasi, kemudian membaca nilai sensor CO, CO₂ dan suhu lalu membandingkannya dengan *set point* dengan keluaran berupa kecepatan putaran kipas DC dan tegangan 4,4 kV yang dibutuhkan ionisator.



Gambar 24. Rangkaian *fan driver*.



Gambar 25. Rangkaian sistem pendingin.



Gambar 26. Rangkaian *LCD driver*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Catu Daya

Rangkaian catu daya yang digunakan pada alat ini menghasilkan tegangan keluaran sebesar +5 V_{dc} dan +12 V_{dc} serta tegangan +15 V_{dc} dan -15 V_{dc} untuk menghasilkan tegangan +30 V_{dc}. Hasil pengujian dicantumkan dalam Tabel I dan II.

B. Pengujian Rangkaian Isolasi

Pada pengujian ini, dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran dari regulator variabel LM317 terhadap logika *low* (0) dan *high* (1) yang diberikan oleh mikrokontroler melalui PORTB.0. Hasil pengujian rangkaian isolasi dicantumkan dalam Tabel III.

C. Pengujian Rangkaian Pembangkit Pulsa

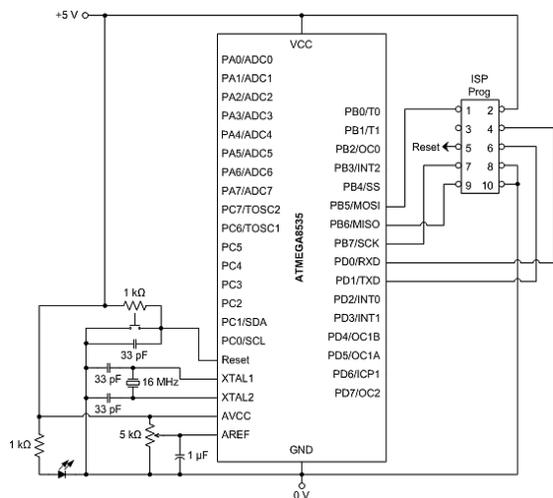
Rangkaian pembangkit pulsa diukur dengan menggunakan osiloskop. Gambar 28 memperlihatkan pengukuran frekuensi keluaran dari rangkaian pembangkit pulsa, Gambar 29 juga menampilkan hasil pengukuran rangkaian pembangkit pulsa. Pada gambar tersebut terlihat frekuensi yang dihasilkan adalah $f_{out} = 15,63$ kHz, sesuai dengan frekuensi yang diharapkan untuk mengoperasikan *flyback converter*.

D. Pengujian Fan Driver

Pengujian *fan driver* dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran *timer 1* serta tegangan keluaran IC L293 (tanpa beban dan dengan beban) terhadap kenaikan PWM. Hasil pengujian *fan driver* ditampilkan pada Tabel IV, V dan VI.

E. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan masing-masing pada sensor CO, CO₂ dan sensor suhu. Pengujian sensor CO₂ dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor HS135 dengan hasil pengukuran alat ukur CO₂ standar. Tabel VII, VIII dan IX menunjukkan hasil pengamatan sensor CO, CO₂ dan suhu.



Gambar 27. Rangkaian *minimum system* untuk mikrokontroler.

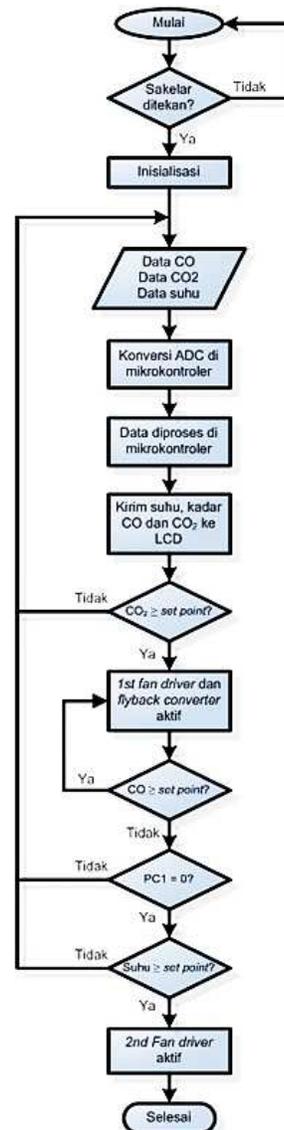
F. Pengujian Sistem Pendingin Ruangan

Pengujian sistem pendingin ruangan dilakukan dengan mengukur tegangan kipas DC berdasarkan kenaikan suhu yang terukur ditampilkan di LCD. Selain itu, diukur pula kecepatan kipas DC menggunakan tachometer sesuai dengan kenaikan suhu. Hasil pengujian dicantumkan dalam Tabel X.

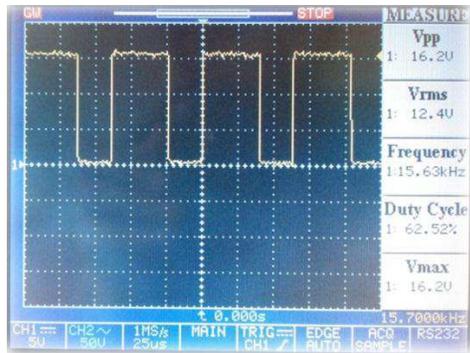
G. Pengujian Elemen Peltier

Pengujian elemen peltier dilakukan dengan mengukur suhu udara dalam ruangan purwarupa. Pertama elemen diberikan suhu awal dan kemudian suhu selanjutnya diukur setiap perubahan waktu. Tabel XI menunjukkan perubahan suhu ruangan purwarupa menggunakan elemen peltier terhadap perubahan waktu.

Dari Gambar 30, dapat dilihat bahwa semakin lama proses pendinginan, maka suhu ruangan purwarupa semakin menurun. Hal tersebut membuktikan elemen peltier bekerja dengan baik.



Gambar 28. Diagram alir alat pembersih udara dalam ruang tertutup.



Gambar 29. Hasil pengukuran rangkaian pembangkit pulsa.

TABEL I. PENGUKURAN TEGANGAN CATU DAYA SWITCHING 12 DAN 5 V_{DC} (5 A)

V _{in} (V _{dc})	Pengukuran ke-	V _{out} (V _{dc})	
		7805 ₁	7805 ₂
12,25	1	4,99	4,75
12,25	2	4,99	4,75
12,25	3	4,99	4,75
12,25	4	4,99	4,75
12,25	5	4,99	4,75

TABEL II. PENGUKURAN TEGANGAN CATU DAYA 15 V_{DC} (3 A)

V _{in} (V _{dc})	V _{out} (V _{dc})	
	7815	7915
3	2,89	3,05
4	3,80	4,37
5	4,89	5,74
13	14,87	15,14
14	14,87	15,15
15	14,95	15,15

TABEL III. PENGUKURAN RANGKAIAN ISOLASI (R₂ = 4,04 KΩ)

Logika PB0	V _{PB0} (V _{dc})	V _{out} Pengukuran (V _{dc})	V _{out} Perhitungan (V _{dc})	Error (%)
0	0	24,1	24,2	0,1
1	4,91	1,5	1,25	0,25

TABEL IV. PENGUKURAN TEGANGAN KELUARAN TIMER 1 TERHADAP BEBERAPA VARIASI PWM (V_S = 4,8 V_{DC})

PWM	V _{out} Hitung (volt)		V _{out} Ukur (volt)		V _{out} Error (%)	
	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B
0	0	0	0	0	0	0
95	1,78	1,78	1,83	1,82	0,83	0,82
127	2,38	2,38	2,44	2,43	1,44	1,43
159	2,98	2,98	3,04	3,04	2,04	2,04
191	3,58	3,58	3,65	3,65	2,65	2,65
223	4,2	4,2	3,97	3,98	2,97	2,98
255	4,8	4,8	4,72	4,72	3,52	3,52
Σ Error					13,45	13,44
Σ Error					1,92	1,92

TABEL V. PENGUKURAN TEGANGAN KELUARAN IC L293D TANPA BEBAN TERHADAP BEBERAPA VARIASI PWM (V_S = 10,62 V_{DC})

PWM	V _{out} Hitung (volt)		V _{out} Ukur (volt)		V _{out} Error (%)	
	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B
0	0	0	0	0	0	0
95	3,98	3,98	3,98	3,98	0	0
127	5,31	5,31	5,26	5,26	0,94	0,94
159	6,64	6,64	6,50	6,47	2,11	2,56
191	7,97	7,97	7,69	7,74	3,51	2,89
223	8,98	8,98	8,87	8,86	1,22	1,34
255	10,62	10,62	10,61	10,10	0,09	4,89
Σ Error					7,87	12,62
Σ Error					1,12	1,80

TABEL VI. PENGUKURAN TEGANGAN KELUARAN IC L293D DENGAN BEBAN KIPAS DC (V_F) TERHADAP BEBERAPA VARIASI PWM (V_S = 10,62 V_{DC})

PWM	V _F Hitung (volt)		V _F Ukur (volt)		V _F Error (%)	
	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B	OC1A	OC1B
0	0	0	0	0	0	0
95	3,98	3,98	3,72	3,74	6,53	6,03
127	5,31	5,31	4,83	4,88	9,04	8,09
159	6,64	6,64	5,89	5,90	11,29	11,14
191	7,97	7,97	6,85	6,85	14,05	14,05
223	8,98	8,98	7,87	7,89	12,36	12,13
255	10,62	10,62	8,88	8,74	16,38	17,70
Σ Error					69,65	69,14
Σ Error					9,95	9,88

TABEL VII. PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN KADAR CO OLEH SENSOR MQ-7 TERHADAP ALAT UKUR CO STANDAR

V _{out} Sensor (volt)	Kadar CO pada LCD (%)	Kadar CO pada Pemandang (%)	Error (%)	Persentase Error (%)
0,2	0,00	0,01	0,01	1,00
0,61	0,02	0,02	0,00	0,00
1,01	0,04	0,04	0,00	0,00
2,11	0,17	0,14	-0,03	24,43
2,92	0,44	0,47	0,03	6,58
Σ Persentase Error				32,01
Σ Persentase Error				6,40

TABEL VIII. PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN KADAR CO₂ OLEH SENSOR HS135 TERHADAP ALAT UKUR CO₂ STANDAR

V _{out} Sensor (volt)	Kadar CO ₂ pada LCD (%)	Kadar CO ₂ pada Pemandang (%)	Error (%)	Persentase Error (%)
0,384	0,06	0,1	0,04	3,64
1,393	0,17	0,2	0,03	3,1
2,563	0,52	0,5	-0,02	2,53
4,113	2,36	2,4	0,04	4,01
4,137	2,42	2,5	0,08	8,45
Σ Persentase Error				32,01
Σ Persentase Error				6,40

TABEL IX. PENGUJIAN SENSOR LM35

V _{out} Sensor (mV)	Suhu pada LCD (°C)	Suhu pada Termometer (°C)	Error (°C)	Persentase Error (%)
324	32,59	32,4	-0,19	0,59
313	31,61	31,3	-0,31	0,99
347	35,02	34,7	-0,32	0,92
272	27,23	27,2	-0,03	0,11
252	25,28	25,2	-0,08	0,32
280	28,20	28,0	-0,20	0,71
294	29,17	29,4	0,23	0,78
Σ Error				4,42
Σ Error				0,63

TABEL X. PENGUJIAN SISTEM PENDINGIN RUANGAN

Suhu (°C)	Tegangan Kipas DC 2 (volt)	Kecepatan Kipas DC 2 (rpm)
20,40	4,83	1.409
26,25	6,85	2.130
29,56	7,87	2.527
32,15	8,88	2.907

TABEL XI. PERUBAHAN SUHU RUANGAN PURWARUPA TERHADAP PERUBAHAN WAKTU DENGAN ELEMEN PELTIER SEBAGAI ELEMEN PENDINGIN (T₀ = 29,56°C)

n	t (menit)	T _n (°C)
1	26	26,25
2	38	20,40
3	42	16,50
4	44	9,68
5	47	0,91

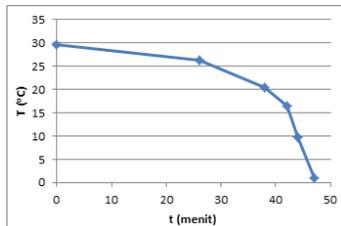
H. Pengujian Flyback Transformer (FBT)

Pengujian FBT dilakukan dengan mengukur tegangan keluarannya menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari 40 buah resistor sebesar 1 MΩ. Pengukuran FBT dapat dilihat pada Gambar 31. Pada Gambar 31, terlihat bahwa hasil pengukuran tegangan pada satu buah resistor adalah sebesar 110 volt sehingga tegangan keluaran FBT yaitu $110 \text{ volt} \times 40 = 4.400 \text{ volt}$.

I. Pengujian Sistem Penjernih Ruangan

Pengujian sistem penjernih ruangan dilakukan dengan mengukur kecepatan kipas DC 1 dan tegangan keluaran FBT terhadap kadar CO dan CO₂ pada alat purwarupa. Asap yang digunakan dalam pengujian adalah asap dari sebatang rokok. Hasil pengamatan ditampilkan dalam Tabel XII.

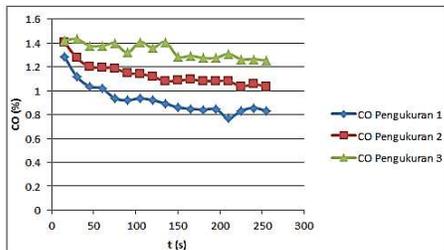
Untuk mengetahui efektifitas dari ionisator, maka dilakukan pengujian pereduksian nilai emisi. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai CO dan CO₂ di setiap kenaikan waktu. Hasil pengujian dicantumkan dalam Tabel XIII dan XIV.



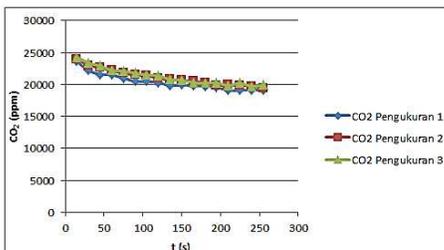
Gambar 30. Perubahan suhu ruangan purwarupa terhadap fungsi waktu.



Gambar 31. Pengukuran tegangan keluaran flyback transformator.



Gambar 32. Grafik pengujian efektifitas pereduksian emisi CO.



Gambar 33. Grafik pengujian efektifitas pereduksian emisi CO₂.

Berdasarkan Tabel XIII, banyaknya CO yang tereduksi setelah 4 menit berkisar dari 0,167% sampai 0,455% (1.670 ppm sampai 4.550 ppm) dengan persentase pereduksian sebesar 11,747% sampai 35,329%. Nilai tersebut cukup besar mengingat ambang batas kadar CO di udara berdasarkan teori adalah 35 ppm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 32.

Pada Tabel XIV, dapat dilihat bahwa setelah 4 menit, kadar CO₂ yang tereduksi berkisar antara 4.368 ppm sampai 4.518 ppm dengan persentase pereduksian sebesar 17,995% sampai 19,148%. Nilai reduksi tersebut relatif cukup besar karena nilai CO₂ yang mencapai 5.000 ppm sudah berbahaya bagi kesehatan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 33.

TABEL XII. PENGUJIAN SISTEM PENJERNIH RUANGAN

Kadar CO (%)	Kadar CO ₂ (ppm)	V _{out} Kipas DC 1 (volt)	Kecepatan Kipas DC 1 (rpm)	V _{out} FBT (volt)
0,003	651	3,74	897	0
0,004	825	4,88	1.409	4.400
0,007	1.070	6,85	1.705	4.400
0,011	1.470	8,74	2.907	4.400
0,061	6.621	8,74	2.907	4.400

TABEL XIII. PEREDUKSIAN EMISI CO

Detik ke-	CO (%)		
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
0	1,286	1,409	1,421
15	1,119	1,276	1,433
30	1,037	1,202	1,378
45	1,019	1,191	1,378
60	0,936	1,187	1,397
75	0,921	1,148	1,319
90	0,936	1,142	1,409
105	0,921	1,119	1,361
120	0,893	1,081	1,409
135	0,861	1,085	1,286
150	0,849	1,094	1,293
165	0,841	1,081	1,276
180	0,846	1,081	1,276
195	0,771	1,081	1,309
210	0,832	1,037	1,265
225	0,856	1,054	1,265
240	0,832	1,037	1,254
Reduksi (%)	0,455	0,372	0,167
Persentase Pereduksian (%)	35,329	26,417	11,747

TABEL XIV. PEREDUKSIAN EMISI CO₂

Detik ke-	CO ₂ (ppm)		
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
0	23.595	23.932	24.274
15	22.190	22.976	23.374
30	21.570	22.613	22.906
45	21.468	22.190	22.190
60	20.967	21.775	22.086
75	20.478	21.468	21.775
90	20.478	21.367	21.468
105	20.285	20.967	21.367
120	19.812	20.770	20.770
135	19.906	20.672	20.672
150	19.812	20.478	20.285
165	19.719	20.285	20.190
180	19.533	19.812	20.285
195	19.077	19.906	19.812
210	19.077	19.812	20.190
225	19.168	19.719	19.719
240	19.077	19.441	19.906
Reduksi (%)	4.518	4.491	4.368
Persentase Pereduksian (%)	19,418	18,766	17,995

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *error* rata-rata yang dihasilkan pada pengujian sensor HS135 adalah sebesar 4,35%, pada pengujian sensor MQ-7 sebesar 6,4% dan pada pengujian sensor LM35 sebesar 0,63%. Pada sistem pendingin, kecepatan kipas DC 2 semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu ruangan purwarupa. Suhu ruangan purwarupa yang semakin turun pada pengujian elemen peltier terhadap perubahan waktu membuktikan bahwa elemen peltier dapat bekerja dengan baik. Penurunan suhu yang terjadi adalah sebesar 28,65°C selama 47 menit.

Sistem penjernih ruangan berjalan dengan baik sesuai dengan yang diprogramkan. Tegangan keluaran FBT yaitu 4.400 volt. Kipas DC 1 berputar lebih kencang sesuai dengan kenaikan kadar CO dan CO₂. *Flyback transformer* mulai bekerja saat kadar CO dan CO₂ bertambah melebihi ambang batas yang ditentukan, yaitu 35 ppm untuk CO dan 700 ppm untuk CO₂. Setelah diionisasi selama 4 menit, reduksi kadar polutan asap mencapai 35,329% dari 9.210 ppm CO dan 19,148% dari 23.595 ppm CO₂.

B. Saran

Pada pengujian, nilai reduksi CO dan CO₂ tidak terlalu besar sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi untuk meningkatkan nilai reduksi tersebut. Selain itu, pada proses penjernihan udara, CO dan CO₂ terionisasi menjadi oksigen dan karbon (zat arang) yang menyebabkan ionisator menjadi kotor sehingga perlu dilakukan pembersihan berkala pada elektroda serta ruang ionisatornya.

Sistem tidak dilengkapi dengan sensor ozon sehingga tidak diketahui kadar ozon yang terbentuk karena proses ionisasi. Jadi, untuk ke depannya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar kadar ozon dapat dikendalikan. Alat ini juga sebaiknya diaplikasikan pada cerobong asap yang ada di rumah tangga maupun perindustrian mengingat perindustrian adalah salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Khamdin, "Peranan Plasma Lucutan Pijar Korona Terhadap Penurunan Total Bakteri Susu Segar", skripsi, Semarang: Universitas Muhammadiyah, 2012.
- [2] Anonim, *Catu Daya 5 Volt 5 A Dengan Pass Transisto*, [pdf], tersedia di: http://orangjadul.weebly.com/uploads/6/0/5/1/6051670/catu_daya_5_volt_5_a_dengan_pass_transistor.pdf, 2 November 2015.
- [3] Anonim, *MOSFET sebagai Saklar*, [Online], tersedia di: <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/mosfet-sebagai-saklar/>, 25 Desember 2014.
- [4] Anonim, *Prinsip Dasar Pengukuran Radiasi*, [Online], tersedia di: <http://docplayer.info/18011-Prinsip-dasar-pengukuran-radiasi.html>, 13 Juli 2015.
- [5] ATMEL, *8-bit Microcontroller with 8Kbytes In-System Programmable FlashATmega32*, [pdf], tersedia di <https://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>, 23 November 2015.
- [6] depokinstruments, *ADC (Analog to Digital Converter)* [Online], tersedia di: <http://depokinstruments.com/2011/07/20/adc-analog-to-digital-converter/>, 27 Juni 2014.
- [7] D. Go, *Gaseous Ionization and Ion Transport: An Introduction To Gas Discharge*, Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame: Notre Dame, 2012.
- [8] D. G. Penney, *Carbon Monoxide Poisoning* (pp. 176). Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [9] D. Kastha, *et al.* 2008. *Power Electronics* (2nd ed.). Kharagpur: Indian Institute of Technology.
- [10] D. Shindell, *Understanding Carbon Monoxide as Pollutant and as Agent of Climate Change*, [Online], tersedia di http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/shindell_09/, 11 November 2015.
- [11] Edgefx Technologies, *Thermoelectric Cooler*, [jpg], tersedia di: https://fbcdn-sphotos-d-a.akamaihd.net/hphotos-akash4/q71/380087_628349840540914_1553437247_n.jpg, 15 Juli 2014.
- [12] Eliezer, S. dan Eliezer, Y, *The Fourth State of Matter: An Introduction to Plasma Science*, London: Institute of Physics Publishing, 2001.
- [13] Environment Protection Agency, *An Introduction to Indoor Air Quality*, tersedia di: www.epa.gov/iaq/co.html, 6 April 2014.
- [14] F. Petruzella, *Elektronika Industri*, terjemahan Sumanto. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2001.
- [15] H. Ardianto, Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C [Codevision AVR], Bandung, INFORMATIKA, 2013.
- [16] H. R. Prawiro, *Ekologi Lingkungan Pencemaran*, Semarang: Penerbit Satya Wacana, 1988.
- [17] H.T. Karyono, *Penelitian Kenyamanan Termis di Jakarta Sebagai Acuan Suhu Nyaman Manusia Indonesia*, [pdf], tersedia di <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/15742>, 20 Agustus 2014.
- [18] Hanwei Electronics, *Technical Data MQ-7 Gas Sensor*, [pdf], tersedia di: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>, 15 Mei 2014.
- [19] HB Corporation, *Thermoelectric Cooler TEC1-12705*, [pdf], tersedia di: <https://www.gme.cz/img/cache/doc/601/020/m-tec1-12705-225-c-datasheet-1.pdf>, 15 Juli 2014.
- [20] INSAN, *PWM: Pengatur Kecepatan Mobile Robot* 2012, [Online], tersedia di: <https://insansainsprojects.wordpress.com/2008/06/06/pwm-pengatur-kecepatan-mobile-robot/>, 27 Juni 2014.
- [21] J. R. Lucas, *High Voltage Engineering*, Sri Lanka: Department of Electrical Engineering University of Moratuwa, 2001.
- [22] L. Valyi, *Atom and Ion Source*, London: Central of Research Institute for Physics of Hungarian Academy of Science, John Wiley and Sons, 1977.
- [23] M. Nur, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*. Semarang: Universitas Diponegoro, 2011.
- [24] M. Perucca, *et al.* (Eds.), *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Food, Biomedical and Textile Applications*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 2010.
- [25] N. Mohan, *et al.* 1995. *Power Electronics: Converters, Applications, and Design* (2nd ed.). Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [26] National Atmospheric Emissions Inventory, *Overview of Greenhouse Gases*, [Online], tersedia di: <http://naei.defra.gov.uk/overview/ghg-overview>, 11 November 2015.
- [27] Occupational Safety and Health Administration, *Chemical Sampling Information: Carbon Dioxide*, [Online], tersedia di: http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_225400.html, 6 April 2014.
- [28] Sencera Co. Ltd., *HS-135 Air Pollution Sensor Specification*, [pdf], tersedia di: www.delta-electronic.com/Design/Data%20Sheet/hs135.pdf, 15 Mei 2014.
- [29] S. Fardiaz, *Polusi Air dan Udara*, Penerbit Kanisius, 1992.
- [30] STMicroelectronics, *MD2001FX: High Voltage NPN Power Transistor for Standard Definition CRT Display*, [pdf], tersedia di http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/246250/STMICROELECTRONICS/MD2001FX_0708/Q_5_73VPSLPETS PKIbaZZTOfqcTIHpKaliMUOZ+/datasheet.pdf, 10 Januari 2014.
- [31] Texas Instrument, *L293, L293D Quadruple Half-H Drivers*, [pdf], tersedia di: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>, 12 Mei 2015.
- [32] T. Gosink, *What do Carbon Monoxide Levels Mean?* [Online], tersedia di: www2.gi.alaska.edu/ScienceForum/ASF5/588.html, 6 April 2014.