

Rancang Bangun Ultrasonic Vibration System dengan Daya Sembur yang Dapat Diatur untuk Aplikasi Rumah Tanaman

Design and Build an Ultrasonic Vibration System with Adjustable Spray Power for Plant House Applications

Deni Permana¹, Mimin Muhaimin², Gandi Sugandi³

^{1,3}Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

KST Prof. DR. Samaun Samadikun Jl. Sangkuriang Bandung, Indonesia

²Universitas Padjadjaran (UNPAD)

Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21 Jatinangor Jawa Barat, Indonesia

dennypermana69@gmail.com

Abstrak

Teknologi akan menjadi pilihan yang diandalkan pada pertanian modern untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, salah satu contoh adalah penggunaan rumah tanaman (*planthouse*), yang digunakan untuk kegiatan budidaya tanaman, dengan tujuan untuk melindungi tanaman dari hujan, angin dan hama, serta dapat mengontrol lingkungan secara optimal [1]. Peralatan yang dipakai untuk mengatur tingkat kelembapan udara yang merupakan salah satu parameter penting selain temperatur adalah humidifier [2]. Namun ternyata humidifier konvensional yang masih banyak dipakai seringkali menghadapi kendala seperti konsumsi energi yang tinggi, distribusi uap air yang tidak merata, serta perawatan yang kompleks [3][4]. Kemudian teknologi humidifier *ultrasonic vibration system* muncul sebagai alternatif yang lebih efisien dan efektif dalam mengontrol kelembapan [5]. Teknologi ini menggunakan prinsip getaran ultrasonik untuk menghasilkan partikel uap air yang sangat halus, sehingga distribusi kelembapan menjadi lebih merata dan hemat energi [6]. Selain itu, humidifier jenis ini memiliki keunggulan dalam hal kebisingan dan minimnya pembentukan kerak mineral. Karena penerapan teknologi ini khususnya dalam konteks pengontrol kelembapan rumah tanaman masih relatif terbatas, maka dalam penelitian ini akan dibuat sebuah purwarupa humidifier *ultrasonic vibration system* dengan daya sembur yang dapat diatur, sehingga dapat mengontrol kelembapan yang lebih presisi, efisiensi energi yang lebih baik, serta peningkatan produktivitas tanaman dalam lingkungan rumah tanaman.

Abstract

Technology will become a reliable choice in modern agriculture to increase efficiency and productivity. One example is the use of plant houses (planthouses), which are used for plant cultivation activities, with the aim of protecting plants from rain, wind, and pests, as well as being able to optimally control the environment [1]. The equipment used to regulate the level of air humidity, which is one of the important parameters besides temperature, is a humidifier [2]. However, it turns out that conventional humidifiers, which are still widely used, often face challenges such as high energy consumption, uneven steam distribution, and complex maintenance [3][4]. Then the ultrasonic vibration system humidifier technology emerged as a more efficient and effective alternative in controlling humidity [5]. This technology uses the principle of ultrasonic vibrations to produce very fine water vapor particles, resulting in a more even moisture distribution and energy efficiency [6]. In addition, this type of humidifier has advantages in terms of noise and minimal mineral buildup. Because the application of this technology, particularly in the context of plant house humidity control, is still relatively limited, this research will develop a prototype ultrasonic vibration system humidifier with adjustable spray power, allowing for more precise humidity control, better energy efficiency, and increased plant productivity in a plant house environment.

Kata kunci: planthouse, humidifier, ultrasonic vibration, daya sembur

I. PENDAHULUAN

Humidifier adalah suatu peralatan yang dapat menghasilkan kabut atau membentuk uap air, kemudian menyebarkan uap air tersebut ke udara [7]. Di dalam rumah tanaman, peralatan ini menjadi sangat penting karena dapat menjaga tingkat kelembapan udara yang ideal, terutama selama musim kering atau di daerah dengan kelembapan udara rendah. Karena manfaatnya tersebut, maka pada rumah-rumah tanaman modern sekarang sudah banyak ditemukan menggunakan teknologi humidifier, baik dipasang secara sendiri (*standalone*) maupun sudah terintegrasi dengan sistem sensor seperti temperatur atau kelembapan. Permasalahan yang sering muncul pada penggunaan jenis humidifier tradisional, pertama adalah konsumsi energi yang cukup tinggi atau pemborosan daya karena masih ada yang menggunakan elemen pemanas untuk menghasilkan uap air atau pompa pendorong bertekanan tinggi untuk menghasilkan kabut menggunakan *nozzle*. Kedua adalah masalah distribusi uap air yang dihasilkan tidak merata karena seringkali timbul tetesan air besar terutama pada saat dan awal sistem humidifier bekerja yang dapat menyebabkan *over-saturation* atau genangan air di permukaan, hal ini tentu tidak diharapkan karena dapat menyebabkan pembusukan. Ketiga adalah perawatan yang kompleks, seperti terjadinya pembentukan kerak mineral pada ujung aktuator yang akan memperpendek masa pakai humidifier dan tentu saja akan menambah biaya pemeliharaan. Selanjutnya adalah masalah kebisingan yang ditimbulkan serta ukuran dimensi yang besar.

Setidaknya ada 4 sistem humidifier konvensional yang masih umum digunakan. Yang pertama *high-pressure misting systems*, sistem ini bekerja dengan menggunakan prinsip tekanan aliran fluida yang dihasilkan oleh pompa pendorong (*booster*) dengan ujung saluran menggunakan *nozzle sprayer* yang dirancang untuk mengendalikan arah aliran fluida sekaligus mengatur kecepatannya [8]. Karena masih menggunakan pompa pendorong, maka daya listrik yang dikonsumsi cukup besar sebanding dengan tekanan yang dihasilkan. Yang kedua *steam humidifier vaporizer system*, dimana jenis ini bekerja dengan cara memanaskan air oleh sebuah elemen pemanas dalam sebuah *reservoir* sampai mendidih dan terbentuk uap air [9]. Karena masih menggunakan elemen pemanas, tentu humidifier jenis ini juga akan memerlukan daya listrik yang cukup besar. Yang ketiga adalah *evaporative coolers system*, sistem ini bekerja berdasarkan prinsip penguapan (*evaporasi*) yaitu perubahan fisika yang

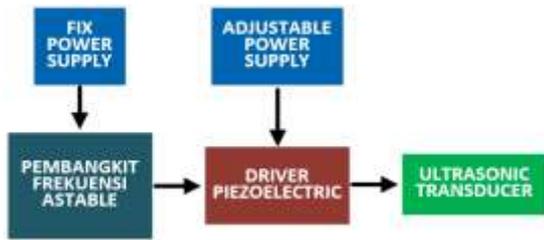
terjadi dalam siklus air, berupa perubahan bentuk cair ke dalam bentuk gas [10]. Udara panas yang kering akan dialirkan melalui suatu media yang lembab yang telah dibasahi dengan air. Saat udara panas melewati media basah ini, air dalam media mulai menguap, dan penguapan ini menyerap panas dari udara. Pemasalahan yang timbul pada sistem ini adalah kebisingan karena menggunakan kipas (*fan*) yang berputar. Yang keempat adalah *impeller humidifier system*, sistem ini bekerja dengan menggunakan cara mekanis berupa cakram berputar (*impeller*) untuk memecahkan partikel air menjadi kabut halus oleh gaya sentrifugal yang kemudian ditiupkan ke udara dengan bantuan *blower*.

Seiring berkembangnya teknologi, *humidifier ultrasonic vibration system* adalah inovasi yang dikembangkan pada teknologi humidifier telah terbukti mampu mengatasi masalah konsumsi daya yang tinggi, distribusi uap air yang lebih merata, kebisingan serta dimensi. Pada teknologi ini, daya terbesar yang diperlukan hanya untuk menghasilkan getaran pada *transduser ultrasonik*, sehingga daya yang diperlukan sangat rendah [11]. Sebagai gambaran untuk menggetarkan sebuah transduser ultrasonik dengan ukuran diameter 20mm hanya membutuhkan daya berkisar 500mW pada tegangan 12VDC. Selanjutnya humidifier jenis ini juga mampu mengatasi masalah genangan air di permukaan karena teknologi ini memanfaatkan prinsip kapilaritas, di mana cairan akan ditarik melalui lubang-lubang kecil dalam ukuran mikroskopis oleh suatu gaya permukaan. Sehingga pada saat transduser ultrasonik tidak getaran atau diam, maka air akan tetap tertahan di dalam lubang karena tekanan permukaan yang lebih besar dari tekanan gravitasi. Hal ini akan mencegah air menetes secara pasif, sehingga menciptakan sifat anti-tetes atau *anti-drip*. Teknologi *inovative* ini tidak hanya efektif dari segi dimensi karena dibangun dari komponen-komponen elektronik, tetapi juga senyap karena tidak menggunakan komponen mekanis yang bergerak seperti kipas atau impeller serta tanpa elemen pemanas. Karena kabut titip yang dihasilkan berukuran *micro*, maka kebermanfaatannya secara ekologis akan lebih cepat dan mudah diserap oleh udara (*absorption*), sehingga akan menghasilkan penguapan yang lebih cepat dan efektif dalam menyebarkan kelembapan di dalam rumah tanaman.

II. METODE PENELITIAN

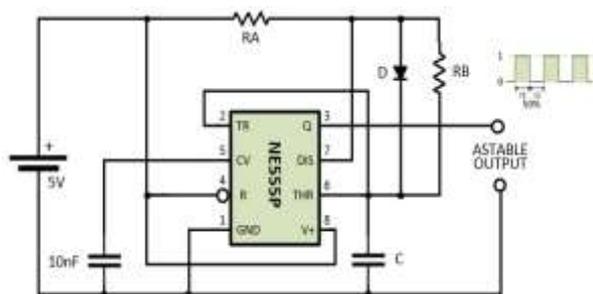
Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah merancang, membuat desain, fabrikasi dan pengukuran sistem. Pada gambar 1.

diperlihatkan diagram blok dari sistem humidifier dengan menggunakan teknik *ultrasonic vibration system* dengan daya sembur yang dapat di atur, diperlihatkan seperti di bawah ini.



Gambar 1. Ultrasonic vibration system dengan daya sembur yang dapat diatur

Pertama kita tentukan frekuensi kerja yang akan dipergunakan, dengan memperhatikan ketersediaan transduser ultrasonik yang beredar dipasaran. Setidaknya ada 4 frekuensi kerja yang umum di pasaran yaitu 108 kHz, 113 kHz, 1,7 MHz dan 2,4 MHz. Dalam penelitian ini frekuensi kerja yang akan digunakan adalah 108 kHz. Untuk mengetahui frekuensi resonansi dari transduser ultrasonik ini, maka dilakukan pengukuran respon frekuensi dengan menggunakan *precision impedance analyzer*. Hal ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui frekuensi resonansi dari transduser tersebut, sehingga pada tahap perancangan dan pembuatan pembangkit frekuensi dapat dijadikan sebagai referensi yang akhirnya antara pembangkit frekuensi dengan transduser dapat ber-resonansi dengan baik. Pembangkit frekuensi dirancang dengan menggunakan IC (*integrated circuits*) tipe NE555. Bentuk gelombang yang direncanakan berupa *square wave* dengan duty cycle 50%. Hal ini bertujuan untuk menghindari kondisi transisi (*fase linier*) pada waktu berpindah antara kondisi ON (sinyal HIGH) dan kondisi OFF (sinyal LOW), sehingga pada rangkaian penguat transduser (*driver transducer*) dapat bekerja lebih cepat dan efisien serta dapat memperkecil disipasi daya berupa panas. Di bawah ini diperlihatkan rangkaian pembangkit pulsa yang direncanakan.



Gambar 2. Rangkaian pembangkit pulsa dengan duty cycle 50%

Untuk mendapatkan nilai duty cycle sebesar 50%, hal yang perlu diperhatikan adalah waktu pengisian dan pengosongan kapasitor, sehingga waktu ON dan OFF dari pulsa akan sama dalam satu perioda. Untuk menghasilkan bentuk pulsa yang sama tersebut dapat dihasilkan dengan menambahkan satu buah dioda yang dipasang secara paralel dengan resistor RB, sehingga waktu pengisian dan pengosongan kapasitor (C) hanya akan melalui resistor RA. Ini dapat dipastikan bahwa waktu pengisian ON dan waktu pengosongan OFF seimbang atau simetris sehingga akan dihasilkan duty cycle mendekati nilai 50%. Persamaan untuk menentukan duty cycle 50% adalah:

$$f = \frac{1.44}{RA \times C} \quad (1)$$

dimana;

- f = frekuensi resonansi
- RA = resistor bias
- C = kapasitor

Dengan mengetahui frekuensi kerja transduser ultrasonik sebesar 108 kHz, serta dengan menentukan nilai dari resistor (RA) 10 KΩ, maka besarnya nilai kapasitor dapat diketahui.

$$f = \frac{1.44}{10.10^3 \times C}$$

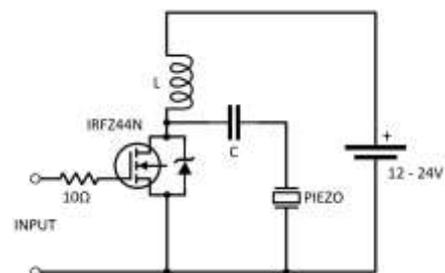
$$C = \frac{1.44}{10.10^3 \times 108.10^3}$$

$$C = \frac{1.44}{1.08 \times 10^9}$$

$$C = 1.325 \times 10^{-9}$$

$$C = 1.3 \text{ nF}$$

Untuk memperkuat sinyal yang keluar dari rangkaian pembangkit pulsa, maka sinyal ini akan diumpankan kepada rangkain penguat transduser seperti pada gambar bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian penguat transduser

Dengan menggunakan mosfet kanal N seri IRFZ44N, rangkaian penguat transduser dirancang dan difungsikan sebagai saklar untuk mengendalikan arus yang akan mengalir melalui transduser. Sementara untuk bekerjanya mosfet dikendalikan oleh sinyal output yang keluar dari rangkaian pembangkit frekuensi melalui resistor 10Ω. Resistor ini juga berfungsi sebagai pembatas arus serta sekaligus melindungi dari lonjakan arus yang bisa merusak mosfet pada saat waktu *transisi switching*. Pada saat sinyal yang masuk ke kaki gate berlogika 1 atau ON, maka drain dan source akan tersambung sehingga arus akan mengalir melalui induktor ke ground. Hal ini akan berlaku sebaliknya pada saat sinyal yang masuk ke kaki gate berlogika 0 atau OFF, maka drain dan source akan terputus dan arus akan berhenti mengalir. Di sini induktor berfungsi untuk menyimpan energi ketika waktu aktif (kondisi high), serta melepaskannya energi ketika waktu pasif (kondisi low) serta mengatur aliran arus yang berubah-ubah secara cepat selama proses switching. Induktor juga berfungsi sebagai filter pada saat terjadi perubahan arus tiba-tiba serta membantu menghasilkan sinyal bolak-balik yang diperlukan untuk menggerakkan transduser.

Sementara kapasitor yang dipasang secara seri dengan transduser akan membantu membentuk rangkaian resonansi dan akan memaksimalkan efisiensi kerja simpangan transduser dengan frekuensi tertentu. Kapasitor ini juga berfungsi sebagai filter untuk meredam gangguan pada proses switching dan melindungi komponen transduser dari tegangan berlebih yang tiba-tiba.

Transduser yang difungsikan sebagai beban, akan menghasilkan getaran atau simpangan mekanis pada saat ada arus bolak-balik yang melewatinya. Rangkaian ini mengubah sinyal switching dari mosfet menjadi sinyal gelombang bolak-balik untuk menggerakkan transduser.

Untuk menentukan besarnya nilai dari kapasitor dan induktor yang digunakan, maka digunakan persamaan resonansi LC, dengan menentukan terlebih dahulu salah satu komponen seperti nilai induktor (L) atau nilai kapasitor (C) pada frekuensi resonansi yang diketahui. Dengan frekuensi resonansi 108 kHz serta dengan nilai kapasitor sebesar 10 nF, maka besarnya nilai induktor dapat diketahui dengan persamaan di bawah ini.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L} \times C} \quad (2)$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 \times L \times C}$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times f^2 \times C}$$

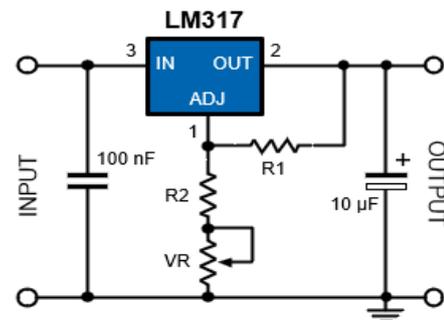
$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times (108 \times 10^3)^2 \times 10 \times 10^{-9}}$$

$$L = 217 \mu H$$

Dari perhitungan di atas, maka nilai induktor diketahui sebesar $217 \mu H \approx 220 \mu H$. Dalam rangkaian penguat transduser, frekuensi resonansi merupakan syarat yang harus dipenuhi karena transduser hanya akan beroperasi optimal pada frekuensi resonansinya.

Pada blok diagram perancangan system ini terlihat terdapat 2 buah sumber tegangan yang berbeda yang diberikan pada rangkaian. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga kestabilan dan keamanan pembangkit pulsa. Karena dengan tegangan yang terpisah, maka tegangan pembangkit pulsa tidak akan terpengaruh oleh tegangan penguat transduser yang berubah-ubah, terjaga dari bergesernya titik kerja frekuensi serta *over voltage* yang masuk kepada IC NE555, dimana rentang tegangan kerjanya berkisar antara 5 sampai 15 Volt DC.

Untuk membuat 2 tegangan yang terpisah tersebut dirancang sama dengan menggunakan IC regulator LM317.



Gambar 4. Rangkaian regulator LM317

Pada perhitungan tegangan untuk pembangkit frekuensi, nilai VR dapat diabaikan sementara karena yang dibutuhkan adalah tegangan tetap (*fixed voltage*), sementara untuk tegangan penguat transduser nilai VR dihitung karena akan berfungsi sebagai pengatur tegangan variable dari 12V sampai 24V. Metoda perhitungan yang biasa dilakukan adalah dengan menentukan salah satu dari 2 nilai resistor R1 dan R2 tersebut. Untuk menghitungnya dipergunakan persamaan;

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{adj} \times R2 \quad (3)$$

dimana:

- V_{out} = tegangan keluaran
- V_{ref} = tegangan referensi 1.25V
- I_{adj} = arus adjustable 50 μA

R1 = resistor antara pin ajust dan keluaran
R2 = resistor antara pin ajust dan ground

Karena arus adjustable (I_{adj}) bernilai sangat kecil dalam orde micro, maka biasanya diabaikan dan persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$V_{out} \approx 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan 4, kemudian ditentukan nilai R1 sebesar $1K2 \Omega$ serta tegangan untuk pembangkit pulsa sebesar 5 Volt, maka nilai R2 dapat dihitung.

$$\frac{R2}{R1} = \frac{V_{out}}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2}{1200} = \frac{5}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2}{1200} = 3$$

$$R2 = 1200 \times 3 = 3K6 \Omega$$

Dengan perhitungan yang sama, maka nilai R2 dan VR untuk tegangan penguat transduser dapat ditentukan. Karena R2 dan VR adalah rangkaian seri, maka dilakukan 2 kali perhitungan dengan nilai R1 yang sama.

Pertama untuk tegangan minimal sebesar 12V.

$$\frac{R2}{R1} = \frac{V_{out}}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2}{240} = \frac{12}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2}{240} = 8.6$$

$$R2 = 240 \times 8.6 = 2.064\Omega \approx 2K\Omega$$

Kedua untuk tegangan maksimal 24V.

$$\frac{R2'}{240} = \frac{24}{1.25} - 1$$

$$\frac{R2'}{240} = 18.2$$

$$R2' = 240 \times 18.2 = 4.368 \approx 4K3\Omega$$

Karena R2 dan VR merupakan rangkaian seri, maka untuk menentukan nilai VR adalah dengan mengurangi nilai $R2'$ yang merupakan nilai resistor untuk tegangan maksimum dengan R2 yang merupakan nilai resistor untuk tegangan minimum.

$$VR = R2' - R2 = 4K3 - 2K \approx 5K\Omega$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji unjuk kerja purwarupa dari sistem *humidifier ultrasonic vibration* ini diawali dengan melakukan pengukuran pada transduser ultrasonik untuk mengetahui frekuensi respon maksimum yang terjadi. Pada gambar di bawah ini diperlihatkan hasil pengukuran frekuensi respon dengan menggunakan alat ukur *precision impedance analyzer* type 6632-10G keluaran Microtest. Pada pengukuran tersebut terlihat grafik dari frekuensi respon (berwarna kuning) untuk resonansi seri (F_s) sebesar 107 kHz dan resonansi paralel (F_p) sebesar 109 kHz (garis berwarna hijau). Ini berarti bahwa transduser ultrasonik ini dapat bekerja maksimal pada frekuensi center (F_c) yaitu pada frekuensi 108 kHz, karena frekuensi center adalah $F_s + F_p / 2$.



Gambar 5. Pengukuran frekuensi respon pada transduser ultrasonic

Dengan diketahui frekuensi respon maksimal dari transduser ultrasonik, maka purwarupa rangkaian *humidifier ultrasonic vibration* dibuat berdasarkan perhitungan pada metoda penelitian, dimulai dengan percobaan pada *protoboard* seperti foto di bawah ini.



Gambar 6. Percobaan rangkaian pada protoboard

Setelah rangkaian purwarupa ini dapat bekerja dan berfungsi dengan baik pada *protoboard*, maka

Gambar 12. Grafik hubungan arus dan tegangan pada daya keluaran

Pada grafik diatas terlihat bahwa daya yang dihasilkan pada rangkaian penguat transduser cenderung naik seiring dengan bertambahnya tegangan (fungsi linier). Karena daya pada penguat transduser berbanding lurus dengan besarnya simpangan getar pada transduser, maka dapat dipastikan bahwa daya sembur juga akan meningkat sesuai dengan pertambahan tegangan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melalui beberapa tahapan yang dimulai dengan perencanaan, pabrikasi, penyempurnaan serta pengukuran, maka telah berhasil dibuat sebuah purwarupa *humidifier ultrasonic vibration system* dengan daya sembur yang dapat diatur untuk aplikasi rumah tanaman skala kecil. Untuk meningkatkan penyebaran serta arah kabut yang dihasilkan, maka humidifier ini dapat dibantu dengan menambahkan sebuah kipas atau blower. Saran penulis, pada aplikasi rumah tanaman dengan area yang lebih besar, humidifier ini dapat dipasang secara parallel atau menggunakan transduser ultrasonik dengan diameter yang lebih besar.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada teman-teman peneliti di Pusat Riset Mekatronika Cerdas (PRMC) dan Pusat Riset Elektronika (PRE) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memfasilitasi dan membantu kegiatan penelitian ini, serta teman-teman di Teknologi Agroindustri Fakultas Teknologi Industri Pertanian (FTIP) UNPAD tempat penulis menimba ilmu

REFERENSI

- [1] Rambod, Abiri., Nastaran, Rizan., Siva, K., Balasundram., Arash, Bayat, Shahbazi., Hazandy, Abdul-Hamid., "Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity.," *Heliyon*, (2023). doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22601.
- [2] Sepehr, Rezaei, Melal., Mahdi, Aminian., Seyed, Mohammadhossein, Shekarian., "A machine learning method based on stacking heterogeneous ensemble learning for prediction of indoor humidity of greenhouse.," *Journal of agriculture and food research*, undefined (2024). doi: 10.1016/j.jafr.2024.101107.
- [3] Xueping, Zhang., Jiachen, Yang., Hao, Qu., Zhi, Gen, Yu., Dilip, Krishna, Nandakumar., Yaoxin, Zhang., Swee, Ching, Tan., "Machine-Learning-Assisted Autonomous Humidity Management System Based on Solar-Regenerated Super Hygroscopic Complex.," *Advanced Science*, undefined (2021). doi: 10.1002/ADVS.202003939.
- [4] I.S., Girnuk., Tianyu, Yang., Larisa, G., Gordeeva., Wenwen, Wang., Tianshu, Ge., Yuri, I., Aristov., "New Adsorption Method for Moisture and Heat Exchange in Ventilation Systems in Cold Countries: Concept and Mathematical Simulation.," *Energies*, undefined (2020). doi: 10.3390/EN13061386.
- [5] Jiawei, Yuan., Zhifang, Li., Qi, Ma., Jie, Li., Zixuan, Li., Yihe, Zhao., Shaohui, Qin., Xue, jing, Shi., Libo, Zhao., Ping, Yang., Guoxi, Luo., Xiaozhang, Wang., Kwok, Siong, Teh., Zhuangde, Jiang., "Noninvasive fluid bubble detection based on capacitive micromachined ultrasonic transducers.," *Microsystems & Nanoengineering*, pp. 1-12, 2023. doi: 10.1038/s41378-023-00491-6.
- [6] Charis, Rousou., Josanne, S, de, Maar., Boning, Qiu., K., V., D., van, der, Wurff-Jacobs., Marika, Ruponen., Arto, Urtili., Sabrina, Oliveira., Chrit, T., W., Moonen., Gert, Storm., Enrico, Mastrobattista., Roel, Deckers., "The Effect of Microbubble-Assisted Ultrasound on Molecular Permeability across Cell Barriers.," *Pharmaceutics*, Volume. 14, No 494, pp. 1-15, 2022. doi: 10.3390/pharmaceutics14030494.
- [7] G.H., Keetels., Lode, Godderis., Bas, J., H., van, de, Wiel., "Associative evidence for the potential of humidification as a non-pharmaceutical intervention for influenza and SARS-CoV-2 transmission.," *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Volume 32, pp. 720-726 2022. doi: 10.1038/s41370-022-00472-3.
- [8] Y. -B. Ham et al., "Spray Time Estimation of a High Pressure Water Supply System for Water Mist Spray," in Proc. 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT), Salerno, Italy, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICMECT.2019.8932137.
- [9] Vionarica, Gusti., Himat, Vaghadia., "Optiflow™ high-flow humidified oxygen delivery during spinal anesthesia.," *Canadian Journal of Anaesthesia-journal Canadien D Anesthésie*, Volume 67, pp. 500-501, 2020. doi: 10.1007/S12630-019-01528-Z.
- [10] Devabhaktuni, Srikrishna., "Can 10× cheaper, lower-efficiency particulate air filters and box fans complement High-Efficiency Particulate Air (HEPA) purifiers to help control the COVID-19 pandemic.," *Science of The Total Environment*, Volume 838, Part 1, 10 September 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155884.
- [11] Ahmed Allam, Ananya Bhardwaj, Karim Sabra, and Alper Erturk., "Piezoelectric transducer design and impedance tuning for concurrent ultrasonic power and data transfer.," in Proc. SPIE 12043, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems XVI, 120430C, 20 April 2022; <https://doi.org/10.1117/12.2614635>.

