

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Kegiatan	2
1.4 Luaran Kegiatan	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB 3. TAHAP PELAKSANAAN	4
3.1 Metode dan Model Pelaksanaan	4
3.2 Rancangan Prototipe.....	4
3.3 Cara Kerja Prototipe	5
3.4 Analisis Prototipe	6
3.5 Evaluasi Prototipe.....	6
3.6 Jadwal Publikasi Pada Akun Media Sosial	7
BAB 4. BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN	8
4.1 Anggaran Biaya	8
4.2 Jadwal Kegiatan	8
DAFTAR PUSTAKA	10
LAMPIRAN	11
Lampiran 1 Biodata Ketua, Anggota, dan Dosen Pendamping.....	11
Lampiran 2 Justifikasi Anggaran Kegiatan	19
Lampiran 3 Susunan Organisasi Tim Pelaksana dan Pembagian Tugas	21
Lampiran 4 Surat Pernyataan Ketua Pelaksana.....	23
Lampiran 5 Gambaran Teknologi yang akan Dikembangkan.....	24

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Analisis SWOT	6
Tabel 3.2 Jadwal Publikasi Prototipe Pada Akun Media Sosial.....	7
Tabel 4.1 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.....	8
Tabel 4.2 Jadwal Kegiatan PKM-KC.....	9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Kegiatan	4
Gambar 3.2 Desain Prototipe <i>Automated robot</i> DACAS	4
Gambar 3.3 Skema Cara kerja <i>Automated robot</i> DACAS	5

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer menyebabkan perubahan iklim yang merugikan lingkungan dan kehidupan manusia. Oleh karena itu, penting untuk mencari cara untuk mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer. Berdasarkan data terbaru menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca (GRK) di Indonesia mencapai 269 juta ton CO_2 pada tahun 2022 (MEMR, 2022). Kemudian Data emisi gas CO_2 dunia saat ini menunjukkan bahwa 92% dari total emisi CO_2 global berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, dengan jumlah sekitar 36 giga ton per tahun (Friedlingstein *et al.*, 2022).

Salah satu cara untuk mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer adalah dengan menangkap CO_2 dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang lebih stabil seperti bikarbonat dan karbonat. Dimana hal ini mendukung SDGs poin ke-13 tentang penanganan perubahan iklim yaitu dengan mengurangi CO_2 di udara. *Direct Air Capture* (DAC) adalah teknologi yang digunakan untuk menangkap CO_2 dari udara menggunakan *Alkaline Aqueous Solution* (Barzagli *et al.*, 2022). Proses ini melibatkan reaksi antara CO_2 dalam udara dengan larutan alkali. Alat *Automated robot* DACAS ini dirancang untuk melakukan proses ini dengan cepat dan efisien. Serta dipadukan menggunakan sistem *computer vision* dan energi terbarukan seperti *photovoltaic*.

Teknologi *Direct Air Capture* (DAC) dianggap lebih unggul dibandingkan *purifier* dalam mereduksi CO_2 sebesar 10%/bulan dari total emisi karbon sektor rumah tangga karena dapat menangkap CO_2 dari udara dan menyimpan secara efektif (Fasihi *et al.*, 2019). Dalam konsep produksi bersih, DAC dapat membantu dalam minimisasi limbah dan pengurangan emisi CO_2 yang berdampak positif pada penurunan gas rumah kaca (GRK) di atmosfer sebagai penyebab *global warming*. Saat ini kebanyakan pengolahan pada tempat menangkap CO_2 masih menggunakan tenaga fosil sebagai bahan bakar untuk menyalakan mesin dan alat yang beroperasi. Hal ini tidak sesuai tujuan SDGs poin ke-7 yaitu meningkatkan akses terhadap energi yang berkualitas, berkelanjutan, dan terjangkau bagi semua orang. Oleh karena itu, dalam kegiatan ini akan dirancang sistem *Direct Air Capture* (DAC) yang menggunakan energi dari panel surya sebagai sumber daya baterainya guna mendukung ketercapaian SDGs poin ke-7.

Ditambah sedikitnya pengembangan teknologi ini secara *portable* dan implementasinya yang masih digunakan hanya untuk sektor industri. Dengan sistem *portable*, maka DAC dapat diterapkan di lingkungan masyarakat. Hal ini mampu meningkatkan kualitas udara di lingkungan publik. Dipadukan fitur *autonomous navigation* dengan sistem *monitoring*, dapat menjamin efektivitas dan akurasi pengukuran kualitas udara.

Dari masalah di atas menjadi dasar diajukannya sebuah prototipe *Automated robot* DACAS (*Direct Air Capture* dengan *Alkaline Aqueous Solution*) sebagai alat

yang digunakan untuk menangkap dan mengurangi konsentrasi CO_2 dari udara. Alat ini dirancang memakai sistem *computer vision* dipadukan *ultrasonic sensor* dalam melakukan *autonomous navigation* untuk mengoptimalkan kinerja alat. Keuntungan dari alat ini adalah dapat mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer secara *portable* dengan menggunakan energi yang ramah lingkungan dan dapat dioperasikan *autonomous*. Sistem ini diharapkan dapat membantu masyarakat Indonesia dalam mewujudkan dua tujuan dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) yaitu: poin ke-13 tentang penanganan perubahan iklim dan poin ke-7 yaitu menerima akses energi berkualitas, berkelanjutan, dan terjangkau.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk mewujudkan ketahanan energi dan perbaikan iklim nasional, bagaimana merancang suatu prototipe *Direct Air Capture* yang memiliki efisiensi tinggi dan ekonomis dari segi biaya serta memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai sumber tenaga yang dapat dioperasikan secara *autonomous*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Kegiatan

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menghasilkan suatu prototipe *Direct Air Capture* yang memiliki efisiensi tinggi dan ekonomis dari segi biaya, serta memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai sumber tenaga yang dapat dioperasikan secara *autonomous* untuk mewujudkan ketahanan energi dan perbaikan iklim nasional.

Kegiatan ini akan memberikan manfaat pada beberapa hal, diantaranya:

1. Mengurangi emisi karbon di atmosfer dengan menangkap CO_2 dari udara dan mengurangi kontribusi pemanasan *global*.
2. Memperbaiki kualitas udara dan meningkatkan kesehatan lingkungan.
3. Membuat teknologi *Direct Air Capture* lebih efisien dan ekonomis melalui pemanfaatan robotika.
4. Membantu mencapai tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) energi terbarukan dan perbaikan iklim.

1.4 Luaran Kegiatan

Luaran yang diharapkan dari kegiatan ini antara lain:

1. Laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai prototipe *Automated robot DACAS* yang telah dirancang dan dikembangkan yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dan biaya operasional yang rendah.
2. Prototipe unit *Automated robot DACAS*.
3. Draft paten dari prototipe *Automated robot DACAS* yang dikembangkan.
4. Publikasi ilmiah untuk hasil kegiatan yang dicapai.
5. Publikasi pada akun media sosial yang berisi konten edukasi terkait kegiatan PKM yang dilaksanakan dan diiklankan pada jadwal yang ditentukan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Perubahan iklim dan pemanasan global merupakan ancaman besar bagi masyarakat dan dikaitkan dengan peningkatan kadar CO_2 di atmosfer. Penangkapan dan penggunaan karbon dapat membantu pembangunan ekonomi dengan mengubah CO_2 menjadi bahan kimia, bahan bakar, dan produk mineral dengan menggunakan sumber energi terbarukan (Peres *et al.*, 2022). Adapun riset untuk mereduksi CO_2 dengan metode elektrokatalitik (CO_2R) yang menggunakan reaktor elektrokimia sebagai *Direct Air Capture* (DAC) umpan gas CO_2 atau elektrolit yang sudah dijenuhkan dengan CO_2 . Kemudian CO_2 ditangkap, disimpan dan dicampur dengan larutan alkali pada mesin bertekanan tinggi untuk menghasilkan CO_2 murni (Ghiat *et al.*, 2021).

Pemanasan global dan perubahan iklim menyebabkan dampak yang semakin jelas pada ekosistem, ketahanan pangan, dan kesejahteraan ekonomi. Terdapat beberapa riset tentang teknologi DAC, yang menggunakan nanomaterials sebagai penyerap, penting untuk mencegah dampak terburuk dari perubahan iklim (Fuss *et al.*, 2019). Dalam riset lain untuk mendapatkan reaksi yang hemat energi dan hemat biaya, salah satunya adalah menggunakan reaktor elektrokimia (EC) yang ditenagai oleh energi surya melalui fotovoltaiik (PV). Sistem PV-EC dan sel fotoelektrokimia (PEC) saat ini menunjukkan tingkat efisiensi yang tinggi dalam mengubah energi surya menjadi energi kimia. Kinerja perangkat PV+EC dan PEC dalam mengurangi emisi CO_2 dari energi surya. Efisiensi konversi energi surya ke kimia yang tinggi, yaitu sebesar 13,4%, telah dilaporkan dengan menggunakan sel photovoltaiik *triple-junction* Ge/GaInAs/GaInP dan elektroda katalis SnO_2/CuO yang dipasang di reaktor EC *dual-chamber* dengan membran *bipolar* (BPM), yang memungkinkan penggunaan anolit dan katolit yang berbeda untuk mendorong reaksi (Boutin *et al.*, 2022).

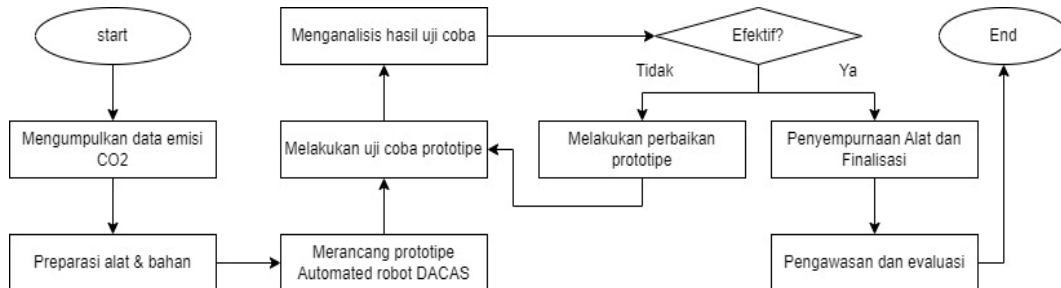
Dalam riset berikutnya pengolahan citra dan pendekatan berbasis *computer vision* dalam sistem pergerakan alat filtrasi udara sudah makin efektif. Untuk mengatasi masalah robot filtrasi bergerak tidak otomatis, diajukan sebuah metode dengan membagi peta dan menggunakan algoritma UCT (*Upper Confidence bounds applied to Trees*) untuk mengatasi masalah robot tidak memsterilkan area tertentu atau berdiam di satu tempat secara berkelanjutan. Dimana saat metode UCT diterapkan pergerakan sebuah robot filtrasi udara menjadi lebih adaptif (Oh *et al.*, 2022)

Berdasarkan penjelasan riset yang dibahas masih terdapat kekurangan dalam sistem DAC yang belum *portable*, efisien dan ekonomis. Maka dirancang prototipe *Automated robot* DACAS ini memiliki ukuran ringkas, *autonomous* dan ekonomis dalam mengurangi emisi karbon. Melalui program PKM-KC ini, maka dibuatlah *Automated robot* DACAS sebagai alat menangkap dan mengurangi konsentrasi CO_2 yang *portable*, ekonomis dan beroperasi secara mandiri.

BAB 3. TAHAP PELAKSANAAN

3.1 Metode dan Model Pelaksanaan

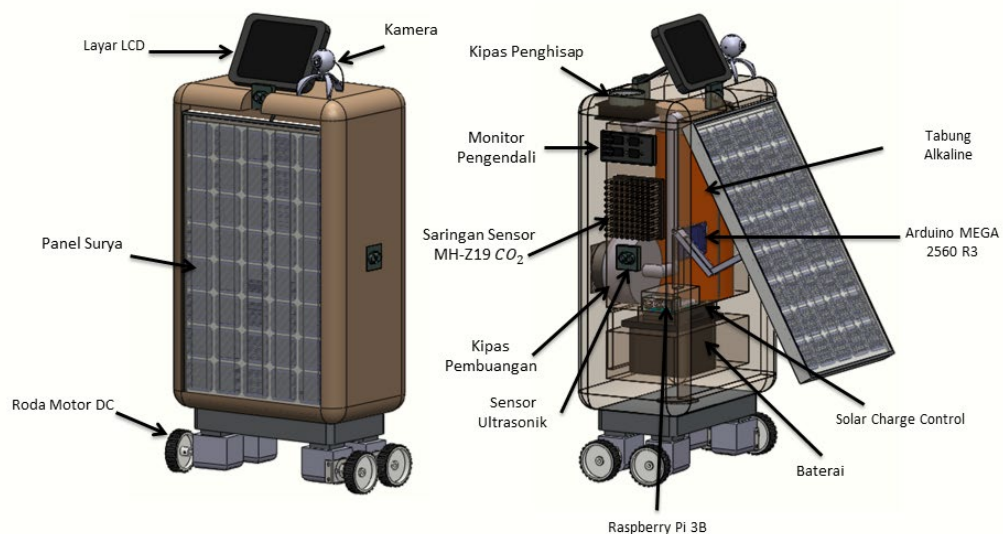
Metode pelaksanaan proposal ini ditampilkan dalam diagram alir 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Kegiatan

Prototipe *Automated robot DACAS* bertujuan untuk mengurangi emisi CO_2 . Tahap pertama adalah mengumpulkan data emisi karbondioksida dari sumber-sumber yang beragam. Tahap kedua adalah mempersiapkan alat dan bahan untuk pembuatan prototipe, seperti rangka, *Raspberry Pi 3B*, *Motor Driver L298N*, *camera*, dan larutan *alkaline aqueous* d.l.l. Tahap ketiga adalah merancang prototipe *Automated robot DACAS* dengan menggunakan data yang dikumpulkan. Tahap keempat adalah melakukan uji coba prototipe untuk mengevaluasi efektivitasnya. Tahap kelima adalah menganalisis hasil uji coba dan memperbaiki prototipe jika diperlukan. Tahap keenam adalah penyempurnaan alat dan finalisasi untuk meningkatkan performa prototipe. Tahap terakhir adalah pengawasan dan evaluasi terus menerus untuk memastikan kinerja prototipe yang optimal dan efektif. Proyek akan diakhiri dengan penyimpulan hasil.

3.2 Rancangan Prototipe



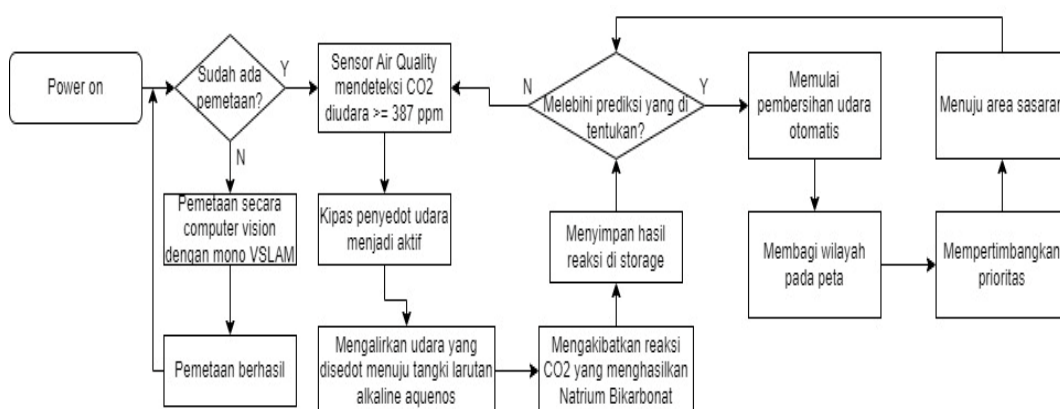
Gambar 3.2 Desain Prototipe *Automated robot DACAS*

Automated Robot DACAS merupakan robot otomatis yang dikendalikan dengan energi baterai dari panel surya. Robot ini menggunakan prinsip *Direct Air Capture* untuk menangkap CO_2 dalam udara menggunakan larutan akuatis alkali seperti natrium hidroksida. Juga terdiri sebuah mikrokontroler yang berguna mengatur kipas untuk menyedot udara masuk dan membuang udara hasil reaksi. Robot ini juga mengandalkan sistem *computer vision* untuk pergerakannya. Komponen utamanya termasuk sensor *air quality*, *camera*, *motor driver* L298N, larutan akuatis alkali, *Raspberry pi* 3B, sensor *ultrasonik* HCSR 05 dan *frame*.

Sensor *Air quality* terdiri dari sub-komponen seperti *Arduino Mega 2560 R3*, *LCD TFT 7"*, Sensor *MH-Z19 CO_2* , Sensor *PMS5003 PM2.5*, dan *DHT21*. *Arduino Mega 2560 R3* adalah sub-komponen yang digunakan sebagai mikrokontroler. *LCD TFT 7"* adalah sub-komponen yang digunakan sebagai layar tampilan dari *air quality* sensor. Sensor *MH-Z19 CO_2* adalah sub-komponen yang digunakan untuk mengukur kadar CO_2 dalam udara. Sensor *PMS5003 PM2.5* adalah sub-komponen yang digunakan untuk mengukur kadar partikel debu ukuran $2,5\ \mu m$ atau lebih kecil. Selanjutnya *DHT21* adalah sub-komponen yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sistem pergerakan mengandalkan *Raspberry pi* 3B sebagai pengendali utama, *camera* dan sensor *ultrasonik* HCSR 05 untuk deteksi objek atau halangan, *motor* DC untuk menggerakkan robot, dan *motor driver* L298N untuk mengatur tegangan dan arus pada *motor* DC. *Frame* memiliki fungsi sebagai kerangka yang terhubung dengan solar panel sebagai sumber baterai.

3.3 Cara Kerja Prototipe

Automated robot DACAS memanfaatkan katup kipas untuk lubang masuk udara yang dialirkan pada larutan *Alkaline aqueous*. Berikut adalah urutan skenario dari prinsip kerja *Automated robot DACAS* (Gambar 3.3):



Gambar 3.3 Skema Cara kerja *Automated robot DACAS*

- [1] Udara yang dialirkan melalui katup kipas masuk ke dalam sistem larutan Alkaline aqueous yang terdiri dari air dan senyawa alkali seperti natrium hidroksida.

- [2] CO_2 dalam udara akan bereaksi dengan senyawa alkali dalam larutan untuk menghasilkan natrium bikarbonat ($NaHCO_3$).
- [3] Natrium bikarbonat yang terbentuk kemudian disimpan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti penyimpanan energi, pembuatan bahan baku sabun, bahan dasar percobaan kimia, bahan baku deodoran dll.
- [4] Sistem pergerakan robotic memakai teknologi *computer vision* dan sistem *monitoring air quality* juga akan memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara otomatis dan stabil selama waktu yang lama tanpa intervensi manusia.

3.4 Analisis Prototipe

Analisis prototipe *Direct Air Capture* harus mencakup efisiensi penangkapan CO_2 , keandalan sistem *autonomous navigation*, kinerja pemrosesan *computer vision*, dan pemantauan kualitas udara. Efisiensi penangkapan CO_2 dan penggunaan daya kinerja alat, stabil tanpa gangguan, minim kesalahan pemantauan kualitas udara dan operasi *autonomous navigation* menghindari halangan pada lintasan robot dan mendeteksi landmark/signpost agar robot mengetahui lokasinya saat ini.

3.5 Evaluasi Prototipe

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka selanjutnya melakukan analisis SWOT untuk melihat peluang pasar setelah evaluasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dan kendala pada prototipe. Adapun penjelasan lebih rinci mengenai Analisis SWOT dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Analisis SWOT

Faktor	Keterangan
<i>Strength</i>	Dapat dioperasikan secara otomatis dan diintegrasikan dengan sistem pengendalian pintar menangkap dan mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer dengan menggunakan energi yang ramah lingkungan.
<i>Weakness</i>	Teknologi <i>Direct Air Capture</i> (DAC) masih dalam tahap pengembangan dan skala operasi yang terbatas.
<i>Opportunity</i>	Potensi untuk mengurangi emisi CO_2 global, mampu meningkatkan kualitas udara di lingkungan publik, Mampu dioperasikan secara <i>portable</i> dan mengintegrasikannya dengan sistem energi terbarukan untuk mengurangi biaya operasi.

<i>Threat</i>	Persaingan dari teknologi penangkapan CO_2 lainnya, seperti <i>air purifier</i> dan potensi tantangan teknis untuk implementasi massal.
---------------	---

3.6 Jadwal Publikasi Pada Akun Media Sosial

Berikut penjadwalan publikasi pada akun media sosial yang berisi konten edukasi terkait kegiatan PKM yang dilaksanakan dan diiklankan pada jadwal yang ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jadwal Publikasi Prototipe Pada Akun Media Sosial

Hari, Tanggal	Waktu	Konten yang Diiklankan
Kamis, 20 April 2023	14.00 WIB	Pengenalan: Memperkenalkan DACAS, Alat Penangkap CO_2 dari Udara
Sabtu, 6 Mei 2023	12.00 WIB	Mengapa Pemanasan Global Perlu Dikurangi?
Jumat, 12 Mei 2023	09.00 WIB	Statistik Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia
Kamis, 18 Mei 2023	12.00 WIB	Bagaimana DAC (<i>Direct Air Capture</i>) Bekerja?
Jumat, 26 Mei 2023	10.00 WIB	Alat <i>Automated Robot</i> DACAS: Mengapa Dibutuhkan?
Sabtu, 3 Juni 2023	10.00 WIB	Sistem <i>Computer Vision</i> pada <i>Automated Robot</i> DACAS
Sabtu, 10 Juni 2023	12.00 WIB	<i>Ultrasonic Sensor</i> dan <i>Air Quality sensor</i> untuk <i>Autonomous Navigation</i> dan <i>monitoring</i> pada <i>Automated Robot</i> DACAS
Jumat, 16 Juni 2023	12.00 WIB	Mengapa DAC (<i>Direct Air Capture</i>) Lebih Unggul Dibandingkan <i>Air Purifier</i> ?
Minggu, 25 Juni 2023	10.00 WIB	Energi Terbarukan dalam DAC: Meningkatkan Akses terhadap Energi Berkualitas dan Berkelanjutan
Selasa, 4 Juli 2023	12.00 WIB	Konsep Produksi Bersih dan Peran DAC (<i>Direct Air Capture</i>).
Jumat, 21 Juli 2023	12.00 WIB	Implementasi DAC (<i>Direct Air Capture</i>) di Lingkungan Masyarakat
Rabu, 16 Agustus 2023	12.00 WIB	Analisis hasil uji coba dan perbaikan prototipe yang diperlukan
Jumat, 25 Agustus 2023	12.00 WIB	Hasil Program PKM: Prototipe <i>Direct Air Capture</i> dengan Efisiensi Tinggi dan Ramah Lingkungan

BAB 4. BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN

4.1 Anggaran Biaya

Adapun rekapitulasi rencana anggaran biaya perakitan prototipe *Automated robot* DACAS dijelaskan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Jenis Pengeluaran	Sumber Dana	Besaran Dana (Rp)
1	Bahan habis pakai	Belmawa	4.044.000,-
		Perguruan Tinggi	300.000,-
		Instansi Lain (jika ada)	-
2	Sewa dan jasa	Belmawa	835.000,-
		Perguruan Tinggi	200.000,-
		Instansi Lain (jika ada)	-
3	Transportasi lokal	Belmawa	1.000.000,-
		Perguruan Tinggi	250.000,-
		Instansi Lain (jika ada)	-
4	Lain-lain	Belmawa	825.000,-
		Perguruan Tinggi	200.000,-
		Instansi Lain (jika ada)	-
Jumlah			7.654.000,-
Rekap Sumber Dana		Belmawa	6.704.000,-
		Perguruan Tinggi	950.000,-
		Instansi Lain (jika ada)	-
		Jumlah	7.654.000,-

4.2 Jadwal Kegiatan

Adapun jadwal kegiatan perakitan prototipe *Automated robot* DACAS dijelaskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jadwal Kegiatan PKM-KC

No	Jenis Kegiatan	Bulan					Person Penanggung Jawab
		1	2	3	4	5	
1	Pengumpulan data yang terkait dengan kegiatan						Andes Fernanda Manalu
2	Pemodelan sistem dan perancangan prototipe untuk menempatkan mikrokontroler, panel surya, sensor <i>air quality</i> , <i>solar charge controller</i> , tabung larutan alkali, <i>motor driver</i> L298N, dll.						Choirul Purnama Kusuma
3	Publikasi prototipe dengan posting konten PKM di akun media sosial.						Alwina Qomariyah Lubis
4	Konfigurasi sistem terhadap keseluruhan bagian prototipe						Andes Fernanda Manalu
5	Pengujian prototipe untuk evaluasi fungsionalitas dan kesalahan sistem pergerakan, sensor, dan penangkapan CO_2						Muhammad Aji Imansyah
6	Analisis prototipe untuk mengoptimalkan kinerja dan menyempurnakan prototipe						Ester Cindy Elisa Panjaitan
7	Evaluasi prototipe untuk mengetahui kinerja dan kendala prototipe						Choirul Purnama Kusuma
8	Penyusunan laporan akhir						Alwina Qomariyah Lubis

DAFTAR PUSTAKA

- Barzagli, F., Peruzzini, M. and Zhang, R. 2022. Direct CO₂ capture from air with aqueous and nonaqueous diamine solutions: a comparative investigation based on ¹³C NMR analysis. *Carbon Capture Science & Technology* 3(April), p. 100049. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ccst.100049>.
- Boutin, E., Patel, M., Kecsenovity, E., Suter, S., Janáky, C. and Haussener, S. 2022. Photo-Electrochemical Conversion of CO₂ Under Concentrated Sunlight Enables Combination of High Reaction Rate and Efficiency. *Advanced Energy Materials* 12(30), pp. 1–10. doi: 10.1002/aenm.202200585.
- Fasihi, M., Efimova, O. and Breyer, C. 2019. Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants. *Journal of Cleaner Production* 224, pp. 957–980. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.086.
- Friedlingstein, P., Sullivan, MO, Jones, MW, Andrew, RM, Gregor, L, Hauck, J, Quéré, C Le, Luijkx, IT, Olsen, A, Peters, GP, & Peters, W. 2022. Global Carbon Budget 2022., pp. 4811–4900.
- Fuss, S, Lamb, WF, Callaghan, MW, Hilaire, J, Creutzig, F, Amann, T, Beringer, T, De Oliveira Garcia, W, Hartmann, J, Khanna, T, Luderer, G, Nemet, GF, Rogelj, J, Smith, P, Vicente, JV, Wilcox, J, Del Mar Zamora Dominguez, M, & Minx, JC. 2018. Negative emissions - Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters* 13(6), pp. 2016–2050. doi: 10.1088/1748-9326/aabf9f.
- Ghiat, I. and Al-Ansari, T. 2021. A review of carbon capture and utilisation as a CO₂ abatement opportunity within the EWF nexus. *Journal of CO₂ Utilization* 45(January), p. 101432. Available at: <https://doi.org/10.1016>.
- MEMR, M. of E. and M.R. 2022. *Energy Sector GHG Emission Inventory Data*. [online]. Available from: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content-data-inventory-emisi-grk-sektor-energi-.pdf>.
- Oh, S., Lee, J. and Lee, C. 2022. Design and Implementation of Space Adaptive Autonomous Driving Air Purifying Robot for Green Smart Schools. 22(1), p. 2289. Available at: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.1.77>.
- Peres, C.B., Resende, P.M.R., Nunes, L.J.R. and Morais, L.C. d. 2022. Advances in Carbon Capture and Use (CCU) Technologies: A Comprehensive Review and CO₂ Mitigation Potential Analysis. *Clean Technologies* 4(4), pp. 1193–1207. doi: 10.3390/cleantechnol4040073.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Biodata Ketua, Anggota, dan Dosen Pendamping

Biodata Ketua

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Andes Fernanda Manalu
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S1 Teknik Elektro
4	NIM	200402060
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Perawang, 21 November 2000
6	Alamat Email	andesmanalumanalu1@students.usu.ac.id
7	Nomor Telepon/HP	085265507600

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	ASATAMA USU	Anggota Divisi Design	2022-sekarang, USU
2			
3			

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	-	-	-

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan **PKM-KC**.

Medan, 14-2-2023

Ketua Tim



(Andes Fernanda Manalu)

Biodata Anggota 1

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Choirul Purnama Kusuma
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S1 Teknik Elektro
4	NIM	200402008
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 11 November 2001
6	Alamat Email	choirul0911@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	0895613125547

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	SIKONEK USU	Ketua Divisi	2022-sekarang USU
2	ROLETTE-X USU	Ketua Divisi	2021-sekarang USU
3	PAGUYUBAN KSE USU	Anggota	2022 - sekarang USU

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	-	-	-

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan **PKM-KC**.

Medan, 14-2-2023

Anggota Tim



(Choirul Purnama Kusuma)

Biodata Anggota 2

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Muhammad Aji Imansyah
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S1 Teknik Elektro
4	NIM	200402020
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 24 Maret 2003
6	Alamat Email	ajiimansyah240303@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	081286540311

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	Mahasiswa Muslim Elektro Study Group	Anggota	2020-sekarang USU
2	-	-	-
3	-	-	-

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	-	-	-

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan **PKM-KC**.

Medan, 14-2-2023

Anggota Tim



(Muhammad Aji Imansyah)

Biodata Anggota 3

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Ester Cindy Elisa Panjaitan
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Program Studi	S1 Teknik Elektro
4	NIM	200402049
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Mulioorejo, 25 November 2001
6	Alamat Email	esterpanjaitan532@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	085762099107

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	Sabut Team (Studi kapal)	Sekretaris Divisi	2022-sekarang USU
2	-	-	-
3	-	-	-

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	-	-	-

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan **PKM-KC**.

Medan, 14-2-2023

Anggota Tim



(Ester Cindy Elisa Panjaitan)

Biodata Anggota 4

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Alwina Qomariyah Lubis
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Program Studi	Teknik Kimia
4	NIM	210405010
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Perk. Sei Bejangkar, 6 Mei 2003
6	Alamat Email	alwinaqomariyah@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	082386737624

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	UKM Start Up Smart Generation Community USU	Staff Ahli	2022 - USU
2	Ikatan Pemuda Pelajar Mahasiswa Batu Bara	Anggota	2022-USU
3	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia	Anggota	2022-USU
4	Arunika Simetrikal	Anggota	2021-USU

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara 1 OSK Tingkat Kabupaten Batu Bara	Dinas Pendidikan Kabupaten Batu Bara	2019
2	Juara 1 KSN Tingkat Kabupaten Batu Bara	Dinas Pendidikan Kabupaten Batu Bara	2020
3	Juara 4 Olimpiade Cekri Batu Bara	Cekri Batu Bara	2020
4	Juara 3 Essay Tingkat Nasional	FEB UTP	2022

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan **PKM-KC**.

Medan, 14-2-2023

Anggota
Tim

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alwina' with a stylized flourish at the end.

(Alwina Qomariyah Lubis)

Biodata Dosen Pendamping

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Ryandika Afdila ST., M.Eng.Sc
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	Teknik Elektro
4	NIP/NIDN	199204242021021001/0024049203
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Lhokseumawe, 24 April 1992
6	Alamat Email	ryandika@usu.ac.id
7	Nomor Telepon/HP	081397908339

B. Riwayat Pendidikan

No	Jenjang	Bidang Ilmu	Institusi	Tahun Lulus
1	Sarjana (S1)	Teknik Elektro	Universitas Sumatera Utara	2015
2	Magister (S2)	Teknik Telekomunikasi	University of New South Wales	2019
3	Doktor (S3)	-	-	-

C. Rekam Jejak Tri Dharma PT
Pendidikan/Pengajaran

No	Nama Mata Kuliah	Wajib/Pilihan	sks
1	Elektronika Digital	Wajib	3
2	Sistem Kendali	Wajib	3
3	Pengolahan Sinyal Digital	Wajib	4
4	Teknik Pengaturan	Wajib	2
5	Pemograman Komputer	Wajib	3
6	Sensor dan Transducer	Wajib	2
7	Pemograman 2	Wajib	2
8	Sistem Digital	Wajib	3

Riset

No	Judul Riset	Penyandang Dana	Tahun
1	OPTIMALISASI PENCAHAYAAN ALAMI DENGAN KINETIC SHADING Studi Pada Perumahan Masyarakat Berpenghasilan Rendah di Kabupaten Deli Serdang	Universitas Sumatera Utara	2022
2	Sistem Kontrol Formasi Robot Majemuk Terdistribusi Pada Lingkungan Dinamis Dengan Menggunakan Algoritma <i>Consensus</i>	TALENTA USU	2021

Pengabdian kepada Masyarakat

No	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Penyandang Dana	Tahun
1	Penerapan Teknologi Pompa Air Bertenaga Surya Bagi Santri Pondok Oesantren Umar Bin Alkhattab Medan Marclan	NON PNBK 2022	2022

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KC.

Medan, 14-2-2023

Dosen Pendamping



(Ryandika Afdila)

Lampiran 2 Justifikasi Anggaran Kegiatan

No	Jenis Pengeluaran	Volume	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Belanja habis pakai			
	Arduino <i>Mega</i> 2560 R3 ATMEGA 16U2	1 buah	350.000,-	350.000,-
	Sensor DHT21	1 buah	70.000,-	70.000,-
	Sensor PMS2.5 5003	1 buah	535.000,-	535.000,-
	Sensor MH-Z19	1 buah	578.000,-	578.000,-
	LCD TFT 7"	1 buah	792.000,-	352.000,-
	DC Motor + <i>Wheels</i>	4 buah	70.000,-	280.000,-
	Motor Driver L298N	1 buah	28.000,-	28.000,-
	Raspberry pi 3B Ram 1 GB	1 buah	880.000,-	880.000,-
	Real Time DS3231	1 buah	42.000,-	42.000,-
	Camera Webcam Logitech C270	1 buah	250.000,-	250.000,-
	Kabel <i>Jumper</i>	6 set	15.000,-	90.000,-
	Push Button (<i>Large</i>)	3 buah	8.000,-	24.000,-
	Pipa PVC diameter ½"	3 batang	35.000,-	105.000,-
	Sensor MP503VOC	1 buah	45.000,-	45.000,-
	Switch	5 buah	15.000,-	75.000,-
	Programming Header FTDI	1 buah	30.000,-	30.000,-
	Tangki Silinder	1 buah	200.000,-	200.000,-
	Sensor <i>Ultrasonik</i> HCSR 05	4 buah	40.000,-	160.000,-
	Fan 2x2	2 buah	25.000,-	50.000,-
	Bubuk NaOH	2 Kg	30.000,-	60.000,-
	Akrilik Lembaran 5 mm	2 buah	70.000,-	140.000,-
	SUB TOTAL	-	-	4.344.000,-
2	Belanja Sewa			
	Sewa <i>Zoom for Education</i>	1 akun	120.000,-	120.000,-
	Sewa Koper 24"	1 buah	350.000,-	350.000,-
	Sewa <i>Solar Charge Controller</i>	1 buah	45.000,-	45.000,-
	Sewa Panel Surya 10 Wp	1 buah	140.000,-	140.000,-
	Sewa <i>Battery Pack</i> li-ion 18650 12V	2 buah	190.000,-	380.000,-
	SUB TOTAL	-	-	1.035.000,-
3	Transportasi lokal			
	Biaya pengantaran bahan	2 kali	150.000,-	300.000,-

	Biaya ongkos kirim pembelian bahan melalui online shop	2 kali	350.000,-	700.000,-
	Transportasi pembelian bahan	25 liter	10.000,-	250.000,-
SUB TOTAL			-	1.250.000,-
4	Lain-lain			
	Biaya <i>adsense</i> media sosial	1 akun	50.000,-	50.000,-
	<i>Hand sanitizer</i>	3 buah	25.000,-	75.000,-
	ATK	1 Set	100.000,-	100.000,-
	Jasa las kerangka	1 orang	600.000,-	600.000,-
	Jasa pembuatan PCB	1 order	200.000,-	200.000,-
SUB TOTAL				1.025.000,-
GRAND TOTAL				7.654.000,-
GRAND TOTAL (Terbilang Tujuh Juta Enam Ratus Lima Puluh Empat Ribu Rupiah)				

Lampiran 3 Susunan Organisasi Tim Pelaksana dan Pembagian Tugas

No	Nama / NIM	Program Studi	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Andes Fernanda Manalu / 200402060	S1	Teknik Elektro	10	Menjadi penanggung jawab dan koordinator pada tim, mengumpulkan data terkait dengan kegiatan, serta melakukan evaluasi prototipe untuk mengetahui kinerja dan kendala prototipe.
2	Choirul Purnama Kusuma / 200402008	S1	Teknik Elektro	9	Melakukan pemodelan sistem pada prototipe yang melibatkan mikrokontroler, panel surya, sensor kualitas udara, <i>solar charge controller</i> , tabung larutan alkali, <i>motor driver</i> L298N, dan sebagainya.
3	Muhammad Aji Imansyah / 200402020	S1	Teknik Elektro	9	Merancang prototipe dengan integrasi mikrokontroler, panel surya, sensor kualitas udara, <i>solar charge controller</i> , tabung larutan alkali, <i>motor driver</i> L298N, dan sebagainya. Selain itu, melakukan analisis prototipe untuk mengoptimalkan dan

					menyempurnakan prototipe.
4	Ester Cindy Elisa Panjaitan / 200402049	S1	Teknik Elektro	9	Mengkonfigurasi sistem pada keseluruhan bagian prototipe, melakukan pengujian prototipe untuk mengetahui fungsionalitas, serta melakukan pengukuran kesalahan.
5	Alwina Qomariyah Lubis / 210405010	S1	Teknik Kimia	9	Mempublikasikan konten media sosial dan menyusun laporan akhir.

Lampiran 4 Surat Pernyataan Ketua Pelaksana

SURAT PERNYATAAN KETUA TIM PELAKSANA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Ketua Tim	:	Andes Fernanda Manalu
Nomor Induk Mahasiswa	:	200402060
Program Studi	:	Teknik Elektro
Nama Dosen Pendamping	:	Ryandika Afdila ST., M.Eng.Sc
Perguruan Tinggi	:	Universitas Sumatera Utara

Dengan ini menyatakan bahwa proposal PKM-KC saya dengan judul “Automated Robot DACAS : Direct Air Capture dengan Alkaline Aqueous Solution untuk Mereduksi CO₂ Bertenaga Photovoltaic” yang diusulkan untuk tahun anggaran 2023 adalah asli karya kami dan belum pernah dibiayai oleh lembaga atau sumber dana lain.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya yang sudah diterima ke kas negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

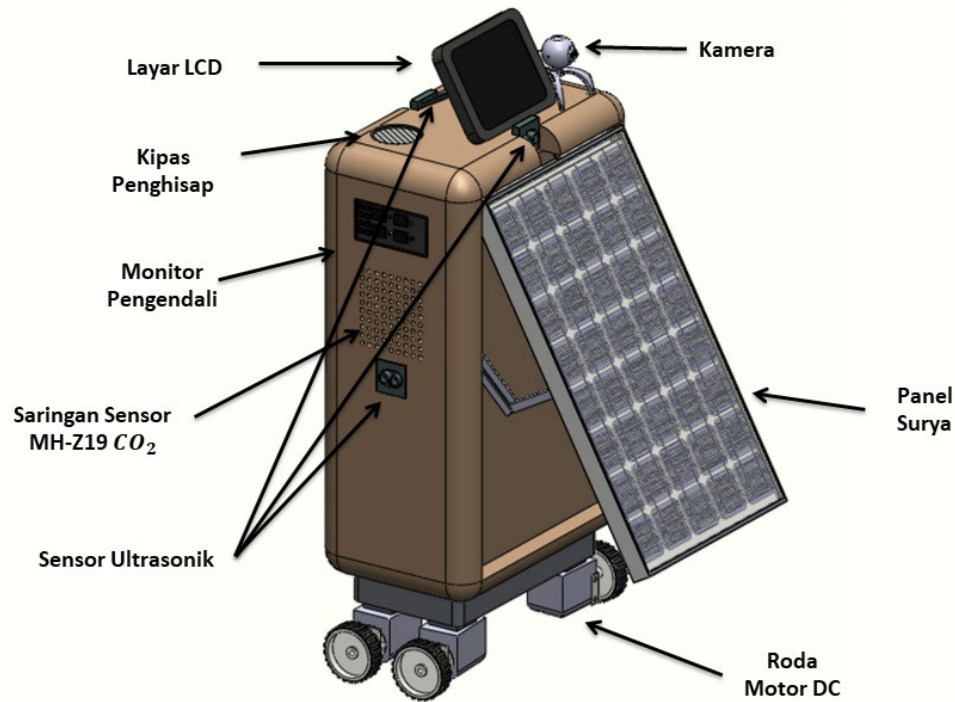
Medan, 14-2-2023

Yang menyatakan,

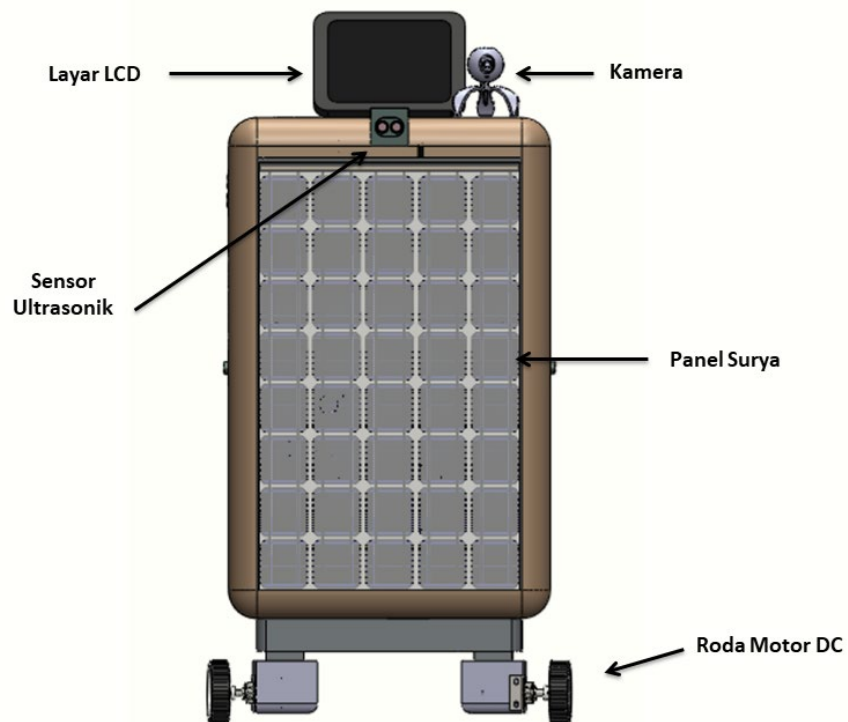


Andes Fernanda Manalu
NIM. 200402060

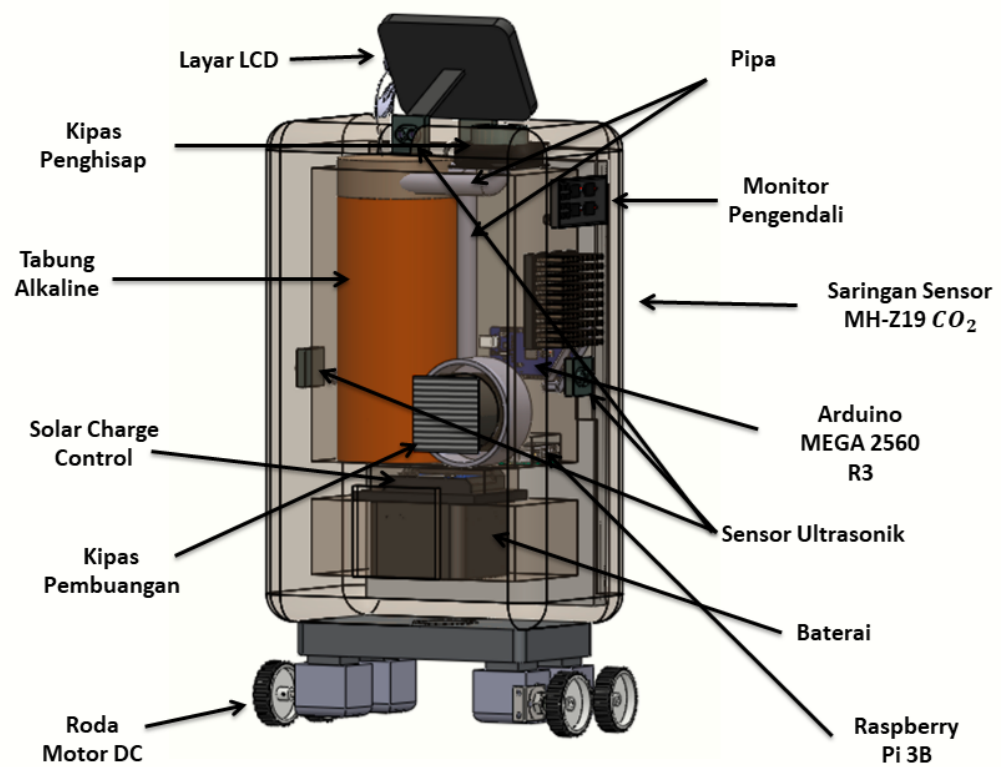
Lampiran 5 Gambaran Teknologi yang akan Dikembangkan



Lampiran 5.1 *Automated robot DACAS* tampak Samping



Lampiran 5.2 *Automated robot DACAS* tampak Depan



Lampiran 5.3 *Automated robot* DACAS tampak bagian Dalam