

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah



Gambar 1. 1 Kasus Gagal di Indonesia [1]

Data Kementerian Kesehatan (Kemenkes) per Kamis, 3 November 2022 mencatat sudah ada 323 kasus gagal ginjal akut anak di seluruh Indonesia. Sebagian besar kasus ditemukan di DKI Jakarta, yakni sebanyak 82 kasus. Dari angka tadi, sebanyak 44 anak meninggal dunia. Sehingga tingkat kematian akibat gagal ginjal akut di ibu kota sebesar 54 persen. Angka itu mengalami kenaikan dari 49 persen pada 24 Oktober lalu.[1]

Gagal ginjal kronis (GGK) merupakan salah satu penyakit katastrofik yang prevalensinya semakin meningkat di Indonesia maupun dunia. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan RI tahun 2022, tercatat ratusan kasus gagal ginjal akut pada anak, sementara prevalensi penyakit ginjal kronis pada orang dewasa juga terus meningkat setiap tahunnya. Kondisi ini menimbulkan beban besar, baik dari sisi kesehatan pasien, beban keluarga, maupun pembiayaan negara melalui program jaminan kesehatan.[2]

Salah satu aspek paling krusial dalam pengelolaan pasien gagal ginjal adalah **pengaturan konsumsi cairan harian**. Pasien gagal ginjal memiliki keterbatasan jumlah cairan yang boleh diminum setiap hari, biasanya dihitung berdasarkan jumlah urin yang masih keluar ditambah 500–700 ml. Jika pasien mengonsumsi cairan melebihi anjuran, akan terjadi **penumpukan cairan** dalam tubuh yang berisiko menimbulkan hipertensi, sesak napas, edema paru, bahkan mempercepat progresivitas penyakit hingga berujung pada kebutuhan dialisis lebih dini. Sebaliknya, jika pasien mengonsumsi cairan terlalu sedikit, maka dapat terjadi dehidrasi, gangguan elektrolit, dan penurunan fungsi metabolik.[4]

Permasalahan yang sering muncul adalah **rendahnya kepatuhan pasien** dalam membatasi cairan. Studi menunjukkan bahwa lebih dari 40% pasien gagal ginjal tidak mematuhi pembatasan cairan yang dianjurkan. Salah satu penyebabnya adalah metode pemantauan konsumsi cairan yang masih manual, misalnya dengan mencatat jumlah gelas yang diminum atau mengandalkan ingatan pasien. Cara ini sangat rentan terhadap kelalaian dan ketidakakuratan, sehingga tidak dapat memberikan gambaran konsumsi cairan yang valid.

Dengan adanya Teknologi, pasien akan lebih mudah mengontrol asupan cairannya setiap hari, keluarga dapat memantau kepatuhan, dan tenaga medis memiliki data objektif untuk evaluasi terapi. Pada akhirnya, teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan kepatuhan pasien dalam membatasi cairan, mengurangi risiko komplikasi, serta menekan beban biaya kesehatan akibat gagal ginjal kronis[6].

Berikut adalah stakeholder yang terlibat dalam permasalahan gagal ginjal kronis (GGK) pada usia muda:

1. **Generasi Muda (Usia 15–35 Tahun)**

Generasi muda merupakan kelompok yang paling terdampak langsung oleh meningkatnya prevalensi gagal ginjal kronis. Pada usia ini, individu sedang berada dalam fase aktif, baik dalam hal pendidikan, pengembangan karier, maupun peran

sosial dalam masyarakat. GGK yang menyerang pada usia ini menyebabkan penurunan kualitas hidup, menurunnya produktivitas, serta gangguan psikologis akibat ketergantungan pada pengobatan jangka panjang seperti dialisis. Jika masalah ini dapat diatasi melalui upaya pencegahan dan deteksi dini, maka generasi muda akan memiliki kesempatan untuk hidup lebih sehat, mandiri, serta berkontribusi secara maksimal dalam pembangunan ekonomi dan sosial.

2. Keluarga Pasien

Keluarga berperan besar dalam mendukung pasien GGK, baik secara emosional maupun finansial. Dalam banyak kasus, keluarga menjadi penanggung beban biaya pengobatan yang tinggi serta waktu dan tenaga untuk perawatan sehari-hari. Ketika pasien GGK berasal dari usia muda, keluarga juga menghadapi beban psikologis karena harus melihat anak, saudara, atau pasangan hidup berjuang dengan penyakit kronis di usia produktif. Apabila masalah ini dapat dicegah atau ditangani lebih awal, maka beban ekonomi dan emosional keluarga dapat ditekan secara signifikan. Selain itu, keluarga juga dapat lebih fokus pada pengembangan kehidupan sosial dan ekonomi mereka tanpa terganggu oleh krisis kesehatan jangka panjang.

3. Tenaga Kesehatan dan Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Dokter, perawat, dan tenaga medis lainnya merupakan pihak yang berada di garis depan dalam menangani kasus GGK. Meningkatnya jumlah pasien GGK, terutama dari kalangan usia muda, menyebabkan beban kerja tenaga kesehatan meningkat dan kebutuhan akan fasilitas dialisis makin tinggi. Kondisi ini berpotensi menurunkan efisiensi pelayanan kesehatan dan memperpanjang waktu tunggu pasien. Jika masalah ini ditangani secara sistematis melalui strategi pencegahan dan pemantauan berbasis teknologi, maka tenaga medis dapat lebih berfokus pada pelayanan promotif dan preventif, serta meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan secara keseluruhan.

4. Pemerintah dan Lembaga Kesehatan Nasional

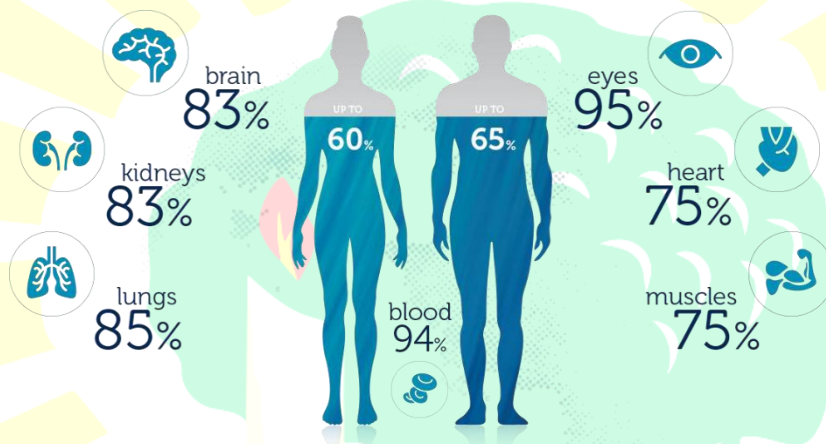
Sebagai pengambil kebijakan dan pengelola sistem pelayanan kesehatan, pemerintah memiliki peran penting dalam penyediaan fasilitas, pendanaan, dan edukasi masyarakat terkait penyakit kronis seperti GGK. Meningkatnya kasus GGK pada usia muda menimbulkan beban anggaran yang besar, khususnya dalam subsidi terapi dialisis melalui program jaminan kesehatan nasional (seperti BPJS Kesehatan). Jika masalah ini dapat dicegah atau dikurangi, maka pemerintah dapat menghemat anggaran kesehatan, mengalokasikan sumber daya untuk program-program pencegahan lainnya, dan meningkatkan indikator kesehatan nasional. Keberhasilan dalam mengatasi krisis ini juga akan mencerminkan komitmen negara terhadap pembangunan sumber daya manusia yang sehat dan produktif.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Permasalahan gagal ginjal kronis (GGK) tidak hanya berdampak pada kualitas hidup pasien, tetapi juga menjadi salah satu penyebab kematian yang terus meningkat setiap tahunnya. WHO melaporkan sekitar 10% populasi dunia mengalami gangguan fungsi ginjal, dan di Indonesia, Riskesdas 2018 mencatat prevalensi penyakit ginjal kronis sebesar 0,38% dari populasi. Meskipun angka ini terlihat kecil, jumlah penderita sebenarnya diperkirakan jauh lebih besar karena banyak kasus tidak terdeteksi pada tahap awal. Data mortalitas menunjukkan bahwa pada tahun 2019, GGK menyumbang 2,35% kematian di Indonesia, dengan estimasi 1,4 juta jiwa meninggal akibat penyakit ini secara global. Hingga tahun 2023, angka kematian akibat GGK di Indonesia meningkat hingga 42.000 jiwa, dan proyeksi global memperkirakan jumlahnya dapat mencapai 8,7 juta jiwa. Fakta ini menegaskan bahwa pengendalian faktor risiko yang berkaitan langsung dengan konsumsi cairan merupakan hal yang sangat penting dan tidak bisa diabaikan.[8], [9], [10],[11].

Air adalah komponen utama tubuh manusia, yang menyusun sekitar 55–65% dari total berat badan. Cairan tubuh mendukung hampir semua fungsi vital, mulai dari mengatur suhu, melancarkan sirkulasi darah, membawa nutrisi, hingga membuang zat sisa

metabolisme. Setiap organ memiliki kandungan air yang tinggi, misalnya jantung 75%, paru-paru 83%, darah 94%, bahkan tulang yang tampak padat pun mengandung 31% air. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan cairan yang seimbang sangat penting untuk keberlangsungan hidup. Namun, keseimbangan cairan ini bisa berbalik menjadi ancaman bila jumlah cairan yang masuk tidak sesuai dengan kemampuan tubuh untuk mengeluarkannya, terutama pada pasien gagal ginjal[16].



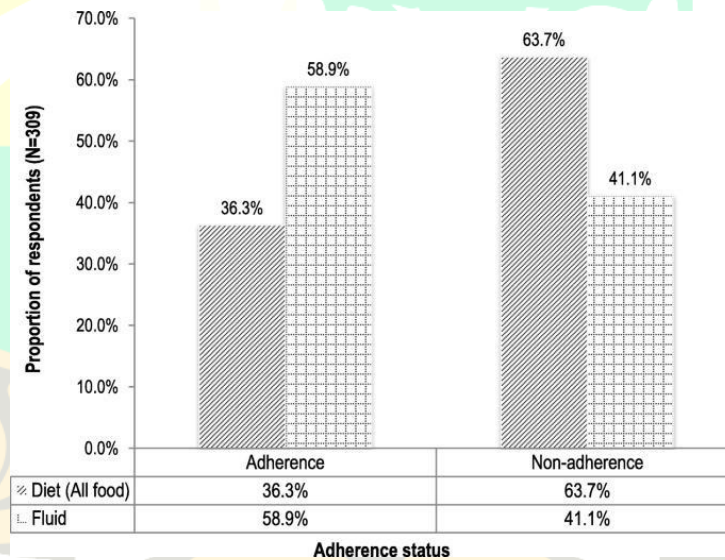
Gambar 1. 2 Jumlah cairan pada tubuh [16]

Pada kondisi normal, ginjal berfungsi untuk menjaga keseimbangan cairan melalui proses filtrasi, reabsorpsi, dan ekskresi. Akan tetapi, pada pasien GGK, fungsi ginjal menurun sehingga tubuh tidak mampu lagi mengeluarkan cairan berlebih secara optimal. Akibatnya, konsumsi cairan yang tidak terkontrol akan menimbulkan penumpukan dalam tubuh. Penumpukan ini dapat memicu berbagai komplikasi serius, seperti pembengkakan (edema), peningkatan tekanan darah, cairan di paru-paru yang menyebabkan sesak napas, bahkan henti jantung mendadak. Sebaliknya, konsumsi cairan yang terlalu sedikit juga berbahaya karena dapat menimbulkan dehidrasi, gangguan elektrolit, serta memperburuk metabolisme tubuh.

Karena itu, pasien gagal ginjal kronis dianjurkan untuk membatasi asupan cairan harian dengan ketat. Jumlah yang diperbolehkan umumnya hanya sekitar 1000–1200 ml per hari, dihitung dari volume urin yang masih dihasilkan ditambah cairan yang hilang tanpa disadari (*insensible water loss*). Artinya, pasien hanya diperbolehkan

mengonsumsi sekitar empat gelas air per hari, jumlah yang jauh lebih sedikit dibandingkan kebutuhan normal orang sehat yaitu 2000–2500 ml per hari. Batasan ini sangat penting, karena melebihi takaran berarti memperbesar risiko komplikasi yang berujung pada perburukan kondisi klinis atau bahkan kematian.[12][15]

Sayangnya, tingkat kepatuhan pasien terhadap pembatasan cairan masih jauh dari harapan. Penelitian menunjukkan bahwa hanya 58,9% pasien yang mematuhi aturan pembatasan cairan, sementara 41,1% lainnya tidak patuh. Rendahnya kepatuhan ini menjadi masalah serius, karena setiap kali pasien mengabaikan batasan cairan, risiko komplikasi meningkat. Salah satu faktor penyebab rendahnya kepatuhan adalah kesulitan pasien untuk memantau jumlah air yang diminum sehari-hari. Selama ini, pencatatan masih dilakukan secara manual, baik dengan menghitung gelas air yang diminum maupun mengandalkan ingatan, sehingga sering kali tidak akurat. Ketidaktepatan dalam pencatatan membuat pasien tidak sadar bahwa konsumsi cairannya telah melampaui batas yang dianjurkan.



Gambar 1. 3 Kasus kepatuhan dan ketidakpatuhan pasien untuk membatasi konsumsi cairan [15]

Proporsi peserta yang melaporkan bahwa mereka mematuhi resep diet mereka, setelah mengikutinya sepanjang waktu, adalah 36,3%. Oleh karena itu, ketidakpatuhan terhadap diet adalah 63,7%. Untuk pembatasan cairan, kepatuhan adalah 58,9%

sedangkan ketidakpatuhan adalah 41,1% [15].

Manajemen cairan adalah cara membuat keseimbangan antara air yang masuk dan air keluar. Air baik berupa air minum atau pun sajian lain sangat dibatasi untuk pasien cuci darah karena dapat mengakibatkan bengkak, meningkatkan tekanan darah, dan sesak nafas akibat sembab paru. Air yang keluar berupa urin atau kencing, air bersama kotoran, air keringat dan pernafasan.

Kondisi ini menjelaskan mengapa pengendalian konsumsi cairan harus menjadi fokus utama dalam perawatan pasien gagal ginjal. Tanpa pemantauan yang tepat, pasien berisiko tinggi mengalami kelebihan atau kekurangan cairan yang sama-sama berbahaya. Pada akhirnya, ketidakpatuhan dalam mengontrol cairan tidak hanya menurunkan kualitas hidup pasien, tetapi juga secara langsung meningkatkan angka mortalitas akibat gagal ginjal. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memastikan bahwa konsumsi cairan dapat dipantau secara objektif, akurat, dan konsisten setiap hari, sehingga risiko komplikasi dapat ditekan dan keselamatan pasien lebih terjamin.

Solusi yang telah tersedia saat ini sebagian besar masih berfokus pada penanganan kondisi yang sudah parah, seperti penyediaan layanan cuci darah dan transplantasi ginjal, namun belum cukup menyoroti upaya pencegahan berbasis teknologi atau edukasi gaya hidup sehat secara menyeluruh. Upaya promotif dan preventif seperti edukasi di Puskesmas, Posyandu, serta melalui aplikasi digital masih menghadapi berbagai keterbatasan jangkauan dan efektivitas. Maka dari itu, dibutuhkan pendekatan inovatif dan integratif yang mampu menjawab kebutuhan deteksi dini serta perubahan perilaku jangka panjang, terutama pada generasi muda yang menjadi kelompok paling rentan sekaligus paling strategis dalam upaya pencegahan krisis gagal ginjal kronis.

1.1.2 Analisis Masalah

1. Aspek Kesehatan (Utama) : Gagal ginjal kronis secara langsung berkaitan dengan penurunan kualitas hidup, ketergantungan pada pengobatan jangka panjang seperti dialisis, serta peningkatan risiko kematian dini. Krisis ini

berdampak serius terutama pada usia muda yang seharusnya berada dalam masa paling sehat dan produktif. Teknologi pemantauan hidrasi dan perubahan gaya hidup adalah kunci untuk deteksi dan pencegahan dini sebelum kondisi memburuk.

2. Aspek Ekonomi : Biaya penanganan GJK sangat tinggi, baik untuk individu maupun sistem kesehatan nasional. Pasien GJK membutuhkan terapi cuci darah rutin, yang biayanya bisa mencapai jutaan rupiah setiap bulan. Di tingkat nasional, GJK menjadi salah satu penyakit katastrofik dengan beban tertinggi bagi BPJS Kesehatan. Upaya preventif berbasis teknologi akan mengurangi beban pembiayaan dan mencegah penurunan produktivitas masyarakat usia kerja.
3. Aspek Sosial dan Budaya: Gaya hidup yang memicu GJK seperti kebiasaan minum manis, konsumsi *fast food*, dan jarang minum air putih sudah menjadi kebiasaan sosial yang mengakar, terutama di kalangan muda. Intervensi teknologi yang sederhana dan edukatif dapat mengubah kebiasaan ini, serta meningkatkan kesadaran kolektif tentang pentingnya kesehatan ginjal dalam budaya hidup sehari-hari.
4. Aspek Sustainability: Dengan mendorong pola hidup sehat sejak usia muda, solusi ini mendukung keberlanjutan kesehatan masyarakat jangka panjang. Pencegahan penyakit kronis seperti GJK memperpanjang usia produktif, mengurangi ketergantungan pada terapi medis yang mahal dan intensif, serta menciptakan generasi yang lebih sehat secara berkelanjutan.

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

1. Sistem mampu memantau jumlah air yang diminum pengguna melalui perangkat yang terintegrasi.
2. Sistem harus mampu memberikan peringatan apabila konsumsi air harian melebihi atau belum mencapai target.

3. Sistem harus mampu menyimpan data konsumsi air yang tercatat melalui perangkat untuk pemantauan lebih lanjut.
4. Data konsumsi yang tercatat melalui sistem ini harus dapat di akses oleh pengguna, keluarga maupun tenaga medis sebagai bahan evaluasi dan pendukung keputusan.

1.1.4 Tujuan

Sistem yang diusulkan bertujuan untuk memberikan solusi komprehensif dalam mengatasi dehidrasi dan meningkatkan pemantauan asupan air pengguna. Penggunaan *mikrokontroler*, sensor sederhana, dan penyimpanan *cloud* akan membuat solusi ini terjangkau dan mudah diimplementasikan, sementara sistem pengingat dan analisis hidrasi akan memberikan kontrol yang lebih baik terhadap kebiasaan minum air pengguna.

1.2 Solusi

Dari permasalahan diatas dapat diajukan beberapa buah solusi untuk mencegah agar permasalahan tersebut tidak terjadi. Solusi yang akan ditawarkan haruslah memiliki beberapa fitur atau spesifikasi agar tercapainya tujuan dikemudian hari. Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, perlunya mengetahui tentang karakteristik produk yang akan dirancang. Sistem yang akan dibuat memiliki beberapa karakteristik produk, yaitu:

1.2.1 Karakteristik Produk

1. Fitur Dasar

- ***Sensing Capability (Kemampuan Sensorik)*** : Fitur ini merujuk pada kemampuan sistem untuk secara otomatis mengumpulkan data yang relevan dari lingkungan atau kondisi pengguna. Data ini digunakan untuk menganalisis status hidrasi atau kebiasaan konsumsi air tanpa perlu input manual dari pengguna.
- ***Notification Capability (Kemampuan Notifikasi)*** : Fitur ini memungkinkan sistem untuk memberikan pengingat atau peringatan kepada pengguna. Pemberitahuan ini dapat berupa bunyi, lampu, atau notifikasi visual pada

antarmuka untuk memberi tahu pengguna tentang kebutuhan hidrasi mereka secara tepat waktu.

- **Computational Method (Metode Komputasi)** : Fitur ini mengacu pada kemampuan sistem untuk mengolah dan menganalisis data yang diperoleh dari sensor menggunakan algoritma tertentu. Hasil dari komputasi ini memberikan informasi yang berguna untuk mengambil keputusan atau memberikan rekomendasi kepada pengguna.
- **Data Storage Capability (Kemampuan Penyimpanan Data)** : Fitur ini memastikan bahwa data yang dikumpulkan oleh sistem dapat disimpan dan diakses dengan mudah, baik secara lokal di perangkat atau melalui *platform* penyimpanan jarak jauh. Penyimpanan data ini memungkinkan pemantauan dan evaluasi kondisi pengguna secara berkelanjutan.

2. Fitur Tambahan

- **Low Cost (Biaya Rendah)** : Sistem ini dirancang dengan memperhatikan efisiensi biaya, sehingga seluruh pengembangan dan implementasi dapat dilakukan dengan anggaran kurang dari Rp 4.000.000. tanpa mengorbankan kualitas dan fungsionalitas.
- **Pengerjaan Dalam 6 Bulan** : Fitur ini berarti solusi harus dapat diselesaikan dalam waktu enam bulan, sesuai dengan waktu yang umumnya tersedia dalam proyek akademik atau tugas akhir. Proses perancangan, pengembangan, dan pengujian dapat diselesaikan dalam jangka waktu ini.
- **Mudah Diimplementasikan** : Sistem harus dapat dikembangkan dengan mudah, tanpa memerlukan pengetahuan atau alat teknis yang sangat rumit. Penggunaan komponen dan perangkat yang mendukung implementasi cepat dan efisien sangat penting.
- **Antarmuka Berbasis Pesan (Chat-Based Interface)** : Sistem ini menggunakan Telegram sebagai antarmuka berbasis pesan, memungkinkan pengguna menerima informasi konsumsi air, pengingat hidrasi, dan data sensor secara langsung melalui chat. Dengan pendekatan ini, pengguna tidak

memerlukan aplikasi tambahan dan dapat memantau hidrasi dengan mudah dan cepat.

1.2.2 Usulan Solusi

Solusi 1: Sistem Pemantauan Konsumsi Air dari Galon/Dispenser dengan Dukungan Kamera

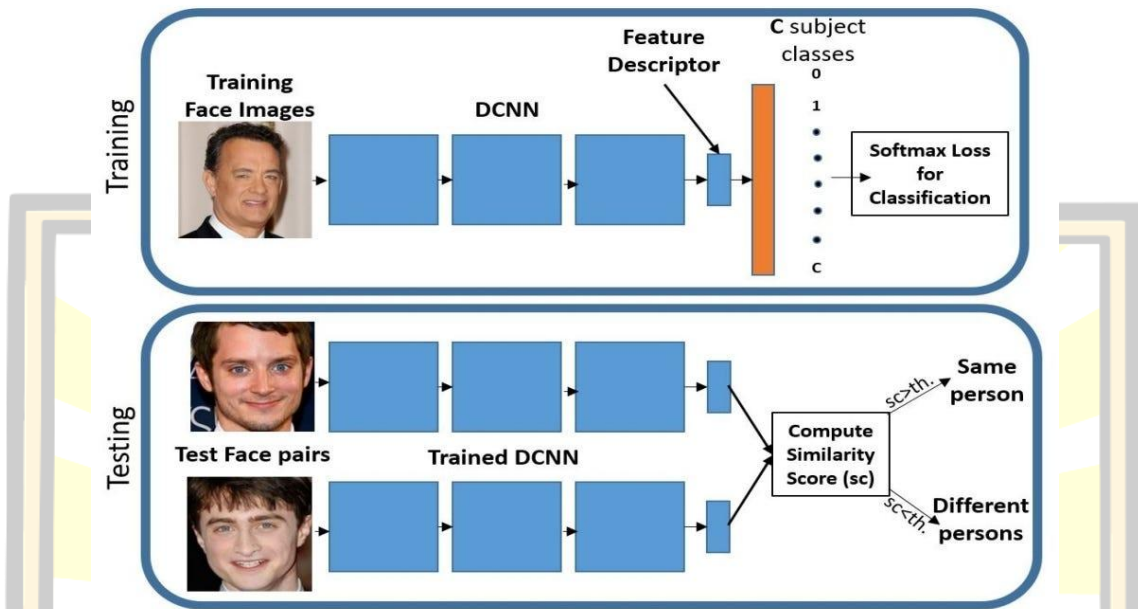
Solusi pertama yang diusulkan adalah sistem pemantauan konsumsi air berbasis otomatisasi dan identifikasi pengguna, yang dirancang untuk memastikan bahwa hanya pengguna yang terverifikasi dan benar-benar melakukan aktivitas minum yang datanya akan dicatat. Proses dimulai ketika seseorang berdiri di depan sistem. Kamera akan menangkap citra wajah pengguna dan memprosesnya menggunakan metode *face recognition*, sebuah pendekatan biometrik yang bekerja dengan mengenali wajah berdasarkan representasi vektorial atau *embedding*. Pertama-tama, wajah pengguna yang tertangkap kamera akan dideteksi dan disejajarkan menggunakan metode pendeteksi wajah seperti MTCNN atau *Haar Cascade*. Setelah wajah terdeteksi, sistem akan menyesuaikan posisi wajah agar konsisten (disebut *face alignment*), kemudian mengekstraksi fitur wajah melalui jaringan saraf dalam seperti *FaceNet* atau *ArcFace* untuk menghasilkan vektor *embedding* berdimensi 128 hingga 512. Vektor *embedding* ini akan dibandingkan dengan data wajah pengguna yang sudah terdaftar sebelumnya menggunakan perhitungan jarak *cosinus*. Jika nilai jaraknya berada di bawah ambang batas tertentu (misalnya $< 0,6$), maka wajah dianggap cocok dan identifikasi berhasil. Setelah pengguna dikenali, sistem akan mengaktifkan aktuator berupa katup elektromagnetik untuk mengalirkan air dari dispenser.

Selama air mengalir, sistem mencatat jumlah air yang dikeluarkan berdasarkan pulsa aliran yang diukur dan dikonversi ke dalam satuan mililiter. Untuk memastikan bahwa air benar-benar dikonsumsi dan bukan hanya dialirkan, sistem kemudian mengaktifkan kembali kamera untuk melakukan deteksi aksi minum secara visual. Berbeda dari pendekatan sebelumnya yang menggunakan YOLO v5, kali ini sistem menggunakan *framework MediaPipe* dari Google yang memanfaatkan jaringan *lightweight* untuk mendeteksi gerakan tubuh dan tangan secara real-time. *MediaPipe Pose* digunakan

untuk mendeteksi 33 titik utama pada tubuh manusia, termasuk kepala, mulut, dan pergelangan tangan. Sementara itu, *MediaPipe Hands* mendeteksi 21 titik pada masing-masing tangan, seperti ibu jari dan ujung telunjuk. Validasi aksi minum dilakukan dengan menghitung jarak antara posisi pergelangan tangan ke mulut, serta mendeteksi orientasi kepala pengguna yang menengadah (*head tilt*). Aksi minum akan dianggap valid jika tangan membawa gelas mendekati mulut, kepala menengadah pada sudut tertentu (misalnya > 15 derajat), dan gerakan tersebut berlangsung selama minimal 0,5 detik. Semua perhitungan dilakukan menggunakan data *landmark* yang diperoleh dari hasil inferensi *MediaPipe* secara *real-time* dan disaring menggunakan *smoothing* filter untuk mengurangi *noise* dari gerakan.

Jika semua kriteria aksi minum terpenuhi dan sinkron dengan volume air yang mengalir, maka sistem menyimpulkan bahwa konsumsi air benar-benar terjadi. Volume air yang terukur akan disimpan ke dalam basis data pengguna, disertai informasi waktu dan status konsumsi. Namun, jika aksi minum tidak terdeteksi atau tidak sesuai, maka data tidak akan disimpan meskipun air telah mengalir, untuk mencegah pencatatan yang tidak valid. Berikut merupakan penjelasan algoritma yang digunakan.

Deep Metric Learning (DML) adalah pendekatan dalam pembelajaran mendalam (*deep learning*) yang bertujuan untuk mempelajari representasi fitur (*embedding*) dari data sehingga hubungan semantik antar data dapat direfleksikan dalam bentuk jarak geometris di ruang vektor. Dalam konteks *face recognition*, DML digunakan untuk mengubah gambar wajah menjadi vektor berdimensi tetap, di mana wajah yang berasal dari orang yang sama akan memiliki vektor yang berdekatan, sedangkan wajah dari orang berbeda akan memiliki jarak yang jauh dalam ruang *embedding*. Sistem ini bekerja tanpa melakukan klasifikasi langsung. Sebaliknya, sistem hanya perlu menghitung jarak antara vektor *embedding* wajah input dengan vektor *embedding* wajah referensi yang telah disimpan sebelumnya.[19]

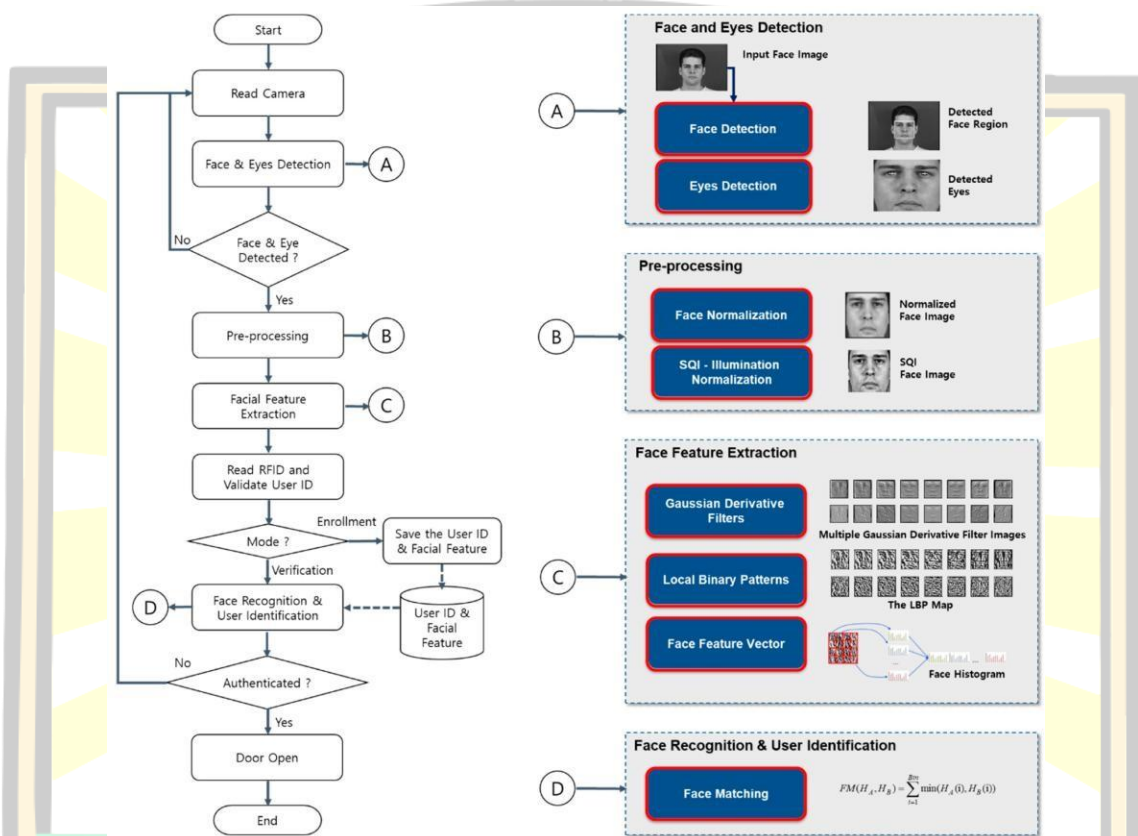


Gambar 1. 4 Deep Metric Learning [19]

Arsitektur yang digunakan dalam DML biasanya melibatkan *Convolutional Neural Network* (CNN) seperti *ResNet* atau *Inception*, yang dilatih dengan *loss function* khusus seperti *triplet loss*, *contrastive loss*, atau *ArcFace loss*. Misalnya, *triplet loss* berfungsi untuk memperkecil jarak antara embedding wajah anchor dan positif (identitas sama), sambil memperbesar jarak antara anchor dan negatif (identitas berbeda), dengan margin tertentu. *ArcFace*, salah satu metode paling populer saat ini, menambahkan margin sudut pada fungsi *softmax* sehingga menghasilkan ruang *embedding* yang lebih terpisah secara angular. Dengan *loss function* ini, sistem belajar menghasilkan representasi fitur yang sangat diskriminatif.

Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk melakukan verifikasi wajah menggunakan hanya satu foto referensi, tanpa perlu melatih ulang model setiap kali ada pengguna baru. Cukup dengan menyimpan satu embedding hasil ekstraksi dari gambar wajah pengguna, sistem dapat melakukan perbandingan menggunakan metrik jarak (seperti *cosine similarity* atau *Euclidean distance*) terhadap *embedding* baru dari input kamera. Jika jarak antar *embedding* lebih kecil dari ambang batas yang telah ditentukan, maka wajah dianggap cocok. Pendekatan ini sangat efisien

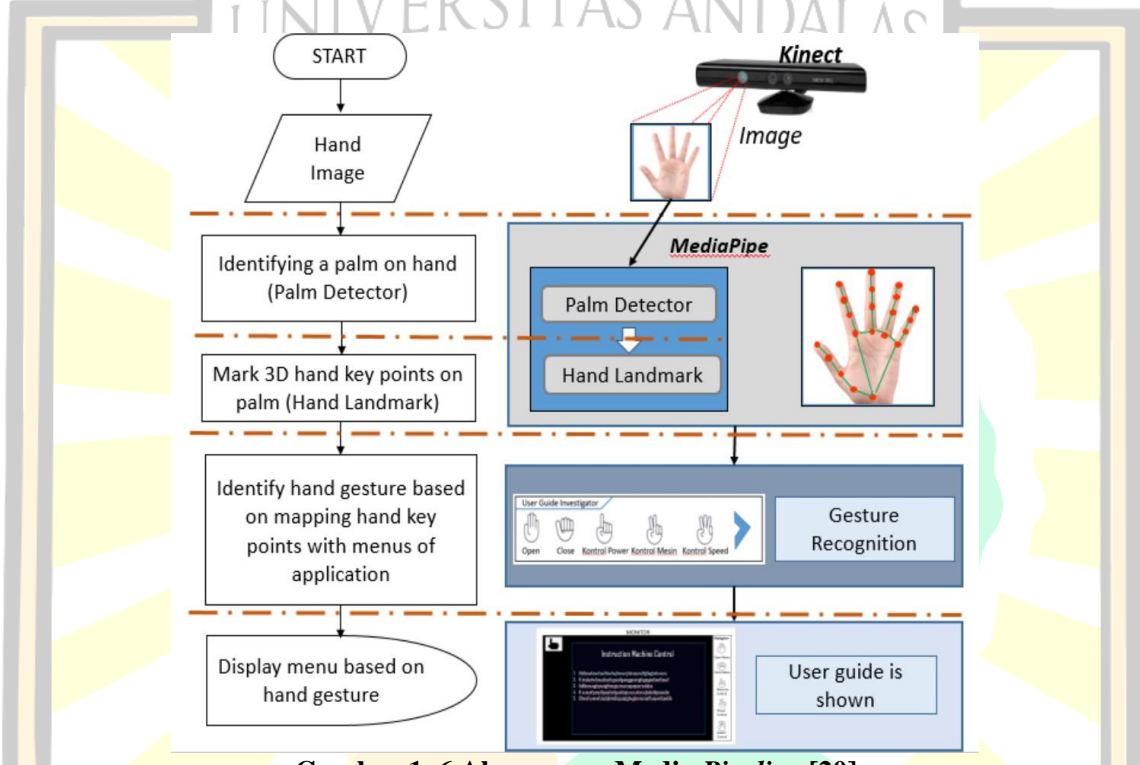
dan ringan, menjadikannya ideal untuk diterapkan pada perangkat dengan daya komputasi terbatas seperti *Raspberry Pi* atau sistem *embedded* lainnya.



Gambar 1. 5 Arsitektur face recognition [19]

MediaPipe merupakan *framework open-source* berbasis *pipeline* buatan Google yang dirancang untuk pengolahan data multimedia secara *real-time*, khususnya dalam bidang *computer vision*. Dalam konteks deteksi aksi minum, *MediaPipe* dapat dimanfaatkan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama seperti *hand detection*, *hand landmarks*, dan *face mesh*. Proses deteksi dimulai dengan mengidentifikasi tangan menggunakan *Palm Detector*, yang kemudian diteruskan ke modul *Hand Landmark* untuk menghasilkan 21 titik koordinat tiga dimensi pada sendi-sendi tangan. Di sisi lain, modul *Face Mesh* digunakan untuk memperoleh *landmark* wajah secara presisi, termasuk posisi mulut yang menjadi acuan utama dalam mendeteksi interaksi antara tangan dan wajah saat seseorang sedang minum. Sistem ini akan mengamati pola gerakan tangan yang mendekati ke area wajah, dan apabila

gerakan tersebut konsisten dalam rentang waktu tertentu, maka dapat diklasifikasikan sebagai aksi minum. Untuk meningkatkan akurasi, pendekatan ini juga dapat ditambahkan dengan pendeteksian objek berupa gelas melalui metode *object detection* atau pelacakan berbasis *template*.



Gambar 1. 6 Alur umum Media Pipeline [20]

Pipeline ini bekerja secara sekuensial, dimulai dari pengambilan frame video, deteksi tangan dan wajah, ekstraksi *landmark*, dan akhirnya klasifikasi aksi berdasarkan pola temporal yang diobservasi. Klasifikasi tersebut dapat dilakukan menggunakan model pembelajaran mesin seperti *Support Vector Machine (SVM)*, *Random Forest*, atau model *deep learning* ringan tergantung pada kompleksitas sistem. Keunggulan utama dari *MediaPipe* adalah kemampuannya untuk bekerja secara real-time dengan efisiensi tinggi, serta kompatibilitas lintas platform (desktop, Android, dan web), menjadikannya pilihan ideal untuk sistem interaktif seperti monitoring konsumsi air secara otomatis[20].

Jika Pendeteksi aksi minum berhasil, maka volume dari *flow* sensor di simpan, lalu akan dilakukan pencatatan harian volume air diminum di catat per pengguna per hari.

Lalu menggunakan konsep *threshold* dalam konteks ini adalah ambang batas konsumsi air yang digunakan untuk menentukan apakah kebutuhan harian pengguna terpenuhi atau belum dengan rumus :

$$\text{persentase} = (\text{volume_aktual} / \text{target}) \times 100$$

Logika Klasifikasi:

```

if persentase < 75:
    status = "Belum tercukupi"
elif 75 <= persentase < 100:
    status = "Hampir tercukupi"
elif persentase == 100:
    status = "Sudah tercukupi"
else: # persentase > 100
    status = "Kelebihan"
    
```

Tahapan *output* dari sistem meliputi pencatatan volume air yang diminum ke dalam basis data, serta pemberian notifikasi kepada pengguna apabila proses validasi minum berhasil atau gagal. Notifikasi nya memiliki beberapa macam yaitu:

Tabel 1. 1 Keterangan Status

Status	Kriteria	Notifikasi dan LED
Belum tercukupi	< 75% dari target harian	Kirim pesan + LED biru

Hampir tercukupi	75% - <100%	Kirim pesan pengingat
Sudah tercukupi	=100%	Kirim pesan + LED hijau
Kelebihan	> target harian	Kirim pesan + LED merah

Setelah status ditentukan, sistem bisa meng-*export* data harian, mikrokontroler yang digunakan juga dapat terhubung dengan aplikasi pemantauan atau antarmuka pengguna, sehingga data konsumsi air dapat dilacak secara *real-time*. Format nya:

Tanggal | Nama Pengguna | Volume (mL) | Status Konsumsi | Waktu Minum

Format ini bisa di simpan di *excel* (CSV) dan juga digunakan untuk mengirimkan pesan ke telegram dengan bot API seperti:

📌 [Peringatan Minum Air]
 Nama: Andi
 Volume Hari Ini: 1250 mL
 Status: Belum Tercukupi +
 Ayo tambah minum hari ini ya!

Dengan pendekatan ini, konsumsi air pengguna tidak hanya dikontrol secara kuantitatif, tetapi juga divalidasi secara cerdas menggunakan kombinasi sensor fisik dan algoritma pengenalan visual. Sistem ini berpotensi besar untuk membentuk kebiasaan hidrasi yang sehat dan menjadi solusi preventif terhadap masalah dehidrasi dan gangguan ginjal, khususnya pada usia muda.

Komponen yang dibutuhkan:

1. Sensor Aliran

Berperan dalam mengukur volume air yang keluar. Sensor ini mendeteksi jumlah air berdasarkan pulsa yang dihasilkan oleh aliran fluida, kemudian dikonversi menjadi satuan liter atau mililiter untuk pencatatan konsumsi.

2. Kamera

Bertugas merekam citra atau video pengguna selama proses identifikasi dan pengambilan air. Digunakan untuk identifikasi wajah dan validasi aksi minum.

3. Algoritma Deteksi Visual

Model kecerdasan buatan digunakan untuk mendeteksi aksi minum secara real-time dari citra yang ditangkap kamera. Algoritma ini mengidentifikasi objek-objek penting seperti gelas, wajah, dan posisi kepala untuk memastikan validasi yang akurat.

4. Mikrokontroler

Sebagai otak dari sistem, *mikrokontroler* bertugas mengendalikan semua komponen, memproses data dari sensor, menjalankan model deteksi visual, serta mengatur logika sistem secara keseluruhan. Pilihan *mikrokontroler* harus mempertimbangkan kemampuan pemrosesan dan dukungan kamera.

5. Media Penyimpanan Data

Digunakan untuk mencatat dan menyimpan riwayat konsumsi air pengguna. Data dapat disimpan dalam bentuk file seperti *.csv* untuk keperluan lokal, atau terintegrasi dengan basis data berbasis *cloud* untuk pemantauan jarak jauh dan analisis lanjutan.

6. Platform Pemantauan

Antarmuka pengguna yang menampilkan riwayat konsumsi air secara real-time. Platform ini juga dapat memberikan notifikasi atau peringatan kepada pengguna apabila terjadi kekurangan konsumsi air atau tidak terjadi aksi minum setelah pengambilan.

Solusi 2: Gelas Pintar dengan Deteksi Konsumsi Air Berbasis Sensor Kontak

Solusi kedua yang diusulkan adalah gelas pintar berbasis sensor fisik untuk memantau dan memvalidasi aksi minum pengguna secara otomatis. Digunakan sensor tekanan kecil yang ditempatkan pada bagian atas gelas untuk mendeteksi kontak antara gelas dan hidung pengguna, saat kontak terjadi, saklar akan menutup dan memberikan sinyal digital *high/low* ke mikrokontroler sebagai indikasi bahwa gelas berada dekat dengan wajah. Selain itu, digunakan sensor gerak berbasis inersia untuk mendeteksi sudut kemiringan gelas. Aksi minum dianggap terjadi jika gelas dimiringkan lebih dari sudut tertentu (misalnya 30 derajat), dan secara bersamaan terdapat kontak dengan wajah pengguna. Sensor ini memberikan data percepatan pada sumbu x, y, z dan dapat di konversi menjadi sudut kemiringan menggunakan rumus trigonometri:

$$\theta = \arctan \left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right)$$

Volume air yang diminum tidak diukur secara langsung, namun dihitung berdasarkan volume tetap per gelas, misalnya 250 ml per sesi.

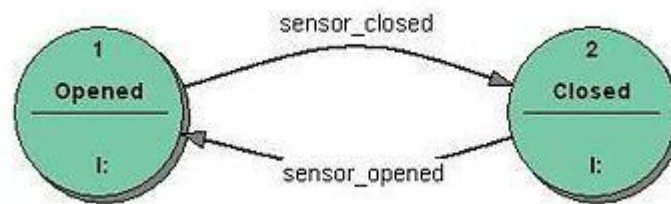
Pada tahap proses, data dari kedua sensor dianalisis oleh mikrokontroler menggunakan pendekatan algoritma *Finite State Machine* (FSM). FSM bekerja dengan membagi sistem ke dalam beberapa kondisi (*state*) seperti *idle*, *kontak wajah*, *kemiringan terdeteksi*, dan *aksi minum valid*. Perpindahan antar kondisi ini dilakukan hanya jika persyaratan dari sensor terpenuhi secara berurutan. Misalnya, sistem berpindah dari kondisi *idle* ke *kontak wajah* ketika sensor tekanan aktif, lalu ke *aksi minum valid* ketika sudut kemiringan melebihi ambang batas. Jika seluruh kondisi dilewati sesuai urutan, maka sesi minum tercatat sebagai valid. Total volume air yang diminum dihitung berdasarkan:

$$\text{Total konsumsi} = \text{Jumlah sesi minum} \times \text{Volume preset per gelas}$$

Kebutuhan hidrasi harian pengguna dihitung dengan rumus:

$$\text{Kebutuhan Air (ml)} = \text{Berat Badan (kg)} \times 30 \text{ ml.}$$

Finite State Machine (FSM) adalah suatu model komputasi yang merepresentasikan sistem sebagai sekumpulan *state* (keadaan) yang terbatas, di mana sistem dapat berpindah dari satu *state* ke *state* lainnya berdasarkan input atau kondisi tertentu. FSM banyak digunakan dalam sistem tertanam (*embedded system*), otomasi, dan pemrosesan logika berurutan, karena sederhana namun kuat dalam memodelkan perilaku dinamis.



Gambar 1. 7 Algoritma *Finite State Machine* (FSM) [21]

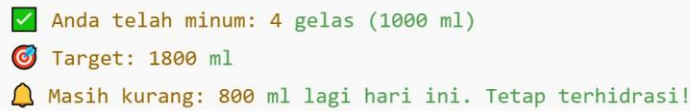
FSM bekerja dengan prinsip berikut:

1. State (Keadaan): Sistem berada dalam satu keadaan tertentu pada satu waktu (misalnya: *Idle*, *Kontak Wajah*, *Minum Terdeteksi*, *Validasi Berhasil*).
2. Input/Trigger: Setiap state merespon input tertentu (misalnya sensor aktif, kemiringan terdeteksi).
3. Transition (Transisi): Berdasarkan input, sistem berpindah ke state lain (jika kondisinya terpenuhi).
4. Action (Tindakan): Tindakan tertentu dapat dilakukan saat berada dalam state tertentu atau saat transisi terjadi

FSM adalah pendekatan algoritmik yang sangat cocok untuk sistem seperti gelas pintar karena memungkinkan kontrol logika yang terstruktur, hemat memori, dan mudah dipahami. Dengan FSM, validasi aksi minum dapat dilakukan berdasarkan urutan logis dari kondisi sensor, tanpa memerlukan pemrosesan citra atau pembelajaran mesin, sehingga efisien untuk digunakan dengan mikrokontroler terbatas.

Pada tahap *output*, sistem akan mengirimkan data konsumsi air harian, jumlah sesi minum, dan status pencapaian target ke platform digital. Pengiriman ini dilakukan

melalui koneksi nirkabel yang disediakan oleh mikrokontroler, dan dapat diarahkan ke aplikasi pemantauan atau secara lebih praktis melalui layanan perpesanan seperti Telegram. Pesan yang dikirimkan berisi informasi jumlah gelas yang telah diminum, total volume air, target harian, serta sisa konsumsi yang masih dibutuhkan. [21]



✓ Anda telah minum: 4 gelas (1000 ml)
🎯 Target: 1800 ml
🔔 Masih kurang: 800 ml lagi hari ini. Tetap terhidrasi!

Sistem ini dirancang untuk mencatat dan memvalidasi konsumsi air dengan metode sederhana namun efektif, memadukan sensor fisik dengan logika algoritma untuk membentuk kebiasaan hidrasi yang sehat pada pengguna.

Komponen Sistem Gelas Pintar:

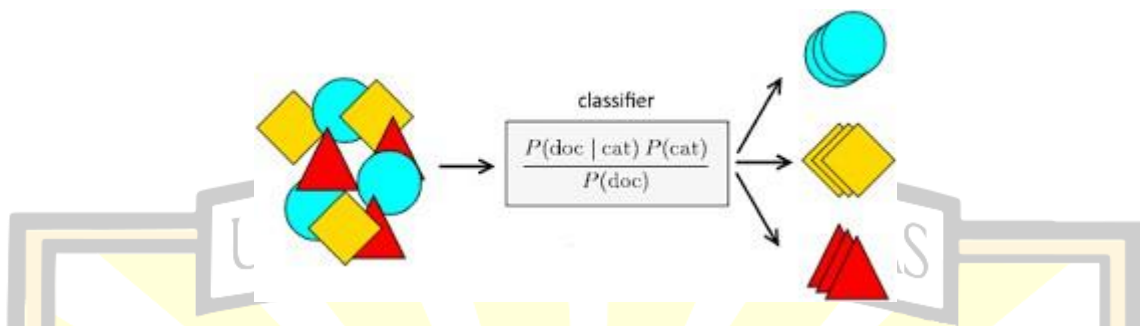
1. Sensor Kontak Berfungsi untuk mendeteksi adanya sentuhan antara bagian atas gelas dan hidung pengguna. Deteksi ini digunakan sebagai indikator bahwa gelas benar-benar didekatkan ke wajah, menjadi bagian dari proses validasi aksi minum.
2. Sensor Kemiringan Mendeteksi sudut kemiringan gelas saat pengguna meneguk air. Saat gelas dimiringkan lebih dari ambang batas tertentu (misalnya $>30^\circ$), sistem akan menganggap aksi ini sebagai indikasi sedang minum.
3. Mikrokontroler Bertindak sebagai pusat kendali sistem. Mikrokontroler akan menerima data dari sensor, menjalankan algoritma verifikasi (*Finite State Machine*), serta mengatur output sistem seperti notifikasi atau penyimpanan data.
4. Modul Konektivitas Digunakan untuk mengirimkan data konsumsi air secara nirkabel ke platform komunikasi seperti Telegram atau aplikasi khusus pengguna. Juga memungkinkan pemantauan secara real-time.
5. Sumber Daya Menyediakan energi untuk keseluruhan sistem. Bisa menggunakan baterai isi ulang (seperti sel lithium) atau catu daya USB. Harus mendukung operasi portabel karena sistem dipasang pada gelas.

6. Output Notifikasi Bisa berupa LED atau *buzzer* sebagai umpan balik lokal untuk memberitahu pengguna bahwa aksi minum telah terverifikasi atau belum. Alternatif lainnya berupa pesan digital yang dikirim melalui jaringan.
7. Penyimpanan Data Lokal Jika koneksi internet tidak tersedia, sistem dapat menyimpan data sesi minum ke dalam memori lokal dalam format *.csv* atau log teks. Data ini bisa diambil dan disinkronkan nanti.

Solusi 3: Botol Minum Pintar dengan Sensor Volume dan Verifikasi Aktivitas Minum melalui Sensor *Infrared*

Sistem botol pintar 2 liter ini dirancang untuk memantau aktivitas minum air secara otomatis dan membantu pengguna mencapai target hidrasi harian yang optimal, khususnya sebagai langkah preventif terhadap risiko dehidrasi dan penyakit ginjal kronis. Pada tahap input, sistem memanfaatkan tiga jenis sensor utama: pertama, sensor inframerah non-kontak yang diarahkan ke wajah pengguna untuk mendeteksi kedipan mata, sebagai indikasi bahwa botol berada di dekat mulut dan siap digunakan; kedua, sensor percepatan yang berfungsi mendeteksi kemiringan botol, karena aksi minum biasanya disertai dengan kemiringan tertentu; dan ketiga, sensor kapasitif non-kontak yang dipasang di bagian dasar botol untuk memastikan bahwa air masih tersedia. Ketiga data sensor ini dikirimkan ke mikrokontroler sebagai pusat pemrosesan dan pengambilan keputusan.

Pada tahap proses, sistem menggunakan pendekatan *Naive Bayes*, yaitu algoritma klasifikasi probabilistik yang bekerja berdasarkan prinsip Teorema *Bayes* dengan asumsi bahwa setiap input sensor bersifat independen secara bersyarat terhadap kelas output.



Gambar 1. 8 Algoritma Naive Bayes [22]

Dalam konteks sistem ini, algoritma bertugas mengklasifikasikan apakah aktivitas yang terdeteksi dapat dianggap sebagai "aksi minum yang valid" atau bukan. Nilai-nilai input dari sensor dikategorikan terlebih dahulu, seperti: kedipan mata (ya/tidak), kemiringan botol (rendah, sedang, tinggi), dan ketersediaan air (ada/tidak). Berdasarkan data pelatihan awal yang telah dikumpulkan secara manual atau empiris, sistem menyusun tabel probabilitas bersyarat untuk masing-masing kombinasi input terhadap dua kelas utama: *diminum* dan *tidak diminum*. Saat proses berlangsung, sistem menghitung peluang terjadinya aksi minum dengan rumus:

$$P(\text{diminum}|X) \propto P(\text{diminum}) \times P(x_1|\text{diminum}) \times P(x_2|\text{diminum}) \times P(x_3|\text{diminum})$$

Di mana x_1, x_2, x_3 masing-masing adalah nilai sensor untuk kedipan, kemiringan, dan air. Perhitungan yang sama dilakukan untuk kelas *tidak diminum*. Setelah seluruh probabilitas dihitung, kelas dengan nilai tertinggi akan menjadi keputusan sistem. Pendekatan ini memungkinkan sistem tetap akurat meskipun terdapat variasi sudut kemiringan botol, Sensor kemiringan memiliki keterbatasan karena hanya mendeteksi sudut gerakan, bukan aksi minum secara penuh, pencahayaan yang mempengaruhi sensor IR, atau kedipan yang kurang konsisten, karena keputusan akhir didasarkan pada gabungan probabilitas dari semua indikator sensor, bukan ambang batas tetap.[22]

Pada tahap output, apabila sistem mengklasifikasikan aktivitas tersebut sebagai aksi minum yang valid dan sensor kapasitif menunjukkan bahwa air masih tersedia, maka sistem akan mencatat satu sesi minum. Estimasi volume yang diminum dihitung

berdasarkan jumlah tegukan dikalikan dengan volume rata-rata per tegukan, yang dapat dikalibrasi secara manual sesuai kebutuhan pengguna. Informasi konsumsi air ini kemudian dikirim secara otomatis melalui koneksi Wi-Fi internal ke ponsel pengguna dalam bentuk notifikasi Telegram, yang mencakup: estimasi total konsumsi air saat ini, status pencapaian target hidrasi, serta volume air yang masih harus diminum. Target hidrasi harian dihitung berdasarkan rumus:

$$\text{Target Hidrasi Harian} = \text{Berat Badan (kg)} \times 30 \text{ ml}$$

Jika target belum tercapai dan air masih tersedia, sistem akan mengaktifkan *buzzer* lokal sebagai pengingat, sehingga pengguna terdorong untuk segera minum. Seluruh sistem bekerja secara otomatis, tanpa perlu input manual dari pengguna, dan sangat berguna untuk memantau hidrasi pada kelompok pengguna khusus seperti anak-anak, lansia, atau pasien dengan kondisi medis tertentu.

Komponen yang dibutuhkan:

1. Sensor inframerah non-kontak

Digunakan untuk mendeteksi kedipan mata pengguna tanpa menyentuh kulit. Sensor ini membaca perubahan reflektansi cahaya di area wajah untuk mengenali gerakan kelopak mata, yang menjadi indikasi bahwa botol berada di posisi siap minum.

2. Sensor percepatan

Berfungsi untuk mengukur kemiringan botol selama penggunaan. Aksi minum biasanya menyebabkan perubahan orientasi botol, dan sensor ini mendeteksi sudut perubahan tersebut untuk memastikan bahwa gerakan mirip minum benar-benar terjadi.

3. Sensor kapasitif non-kontak

Ditempatkan di bagian bawah botol untuk mendeteksi apakah air masih tersedia di dalam botol tanpa perlu menyentuh cairan secara langsung. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan kapasitansi akibat keberadaan cairan di dekatnya.

4. Mikrokontroler dengan koneksi Wi-Fi

Berfungsi sebagai unit pengendali utama yang memproses data dari sensor, menjalankan algoritma klasifikasi probabilistik, dan mengirimkan hasil pemantauan ke perangkat pengguna melalui jaringan Wi-Fi.

5. Catu daya portabel (misalnya baterai isi ulang)

Menyediakan sumber energi untuk seluruh sistem, memungkinkan botol pintar digunakan secara portabel tanpa bergantung pada sumber daya eksternal.

6. *Buzzer* atau aktuator audio kecil

Digunakan sebagai pengingat lokal untuk minum ketika target hidrasi harian belum tercapai. *Buzzer* menghasilkan bunyi singkat yang dapat memperingatkan pengguna secara langsung.

7. Botol air berkapasitas 2 liter

Merupakan wadah fisik utama yang menampung air. Kapasitas 2 liter dipilih karena mendekati rekomendasi konsumsi air harian rata-rata untuk orang dewasa, dan cukup untuk kebutuhan pemantauan harian.

8. Modul komunikasi (jika Wi-Fi tidak terintegrasi)

Diperlukan bila mikrokontroler utama tidak memiliki modul Wi-Fi bawaan. Modul ini memungkinkan sistem tetap dapat mengirim notifikasi ke perangkat eksternal secara nirkabel.

9. Perangkat lunak untuk klasifikasi probabilistik

Digunakan untuk menerapkan algoritma *Naive Bayes* yang mengklasifikasikan apakah suatu aktivitas termasuk aksi minum yang valid berdasarkan kombinasi data dari ketiga sensor.

10. Aplikasi penerima notifikasi (misalnya Telegram via API)

Bertugas menampilkan informasi konsumsi air dan status hidrasi pengguna. Sistem mengirimkan notifikasi otomatis ke aplikasi ini sebagai bentuk monitoring jarak jauh dan pengingat digital.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

House Of Quality <i>HOQ</i>			↑	↑	↑	↑	
● = Strong (5) ○ = Medium (3) △ = Weak (1) = No Relation (0)	Importance a Rating (1 = low, 5 = high)	Percent of Importance Rating	Sensing Capability	Notification Capability	Computing Methode	Data Storage Capability	
Biaya < Rp 4.000.000	5	32%	○	○	△	○	
Pengerjaan 6 Bulan	4	31%	○	○	○	○	
Mudah di implementasikan	3	24%	○	○	○	○	
User Interface	2	13%	△	○	○	○	
Importance Rating			38	42	32	42	TOTAL
Percent of Importance			25%	27%	21%	27%	100%
Solusi 1			●	●	●	●	5
Solusi 2			○	●	○	○	3,54
Solusi 3			●	●	○	○	4,04

Gambar 1. 9 House of Quality

Hubungan Dengan Fitur Dasar:

$$\text{Solusi 1} : [(5 \times 25\%) + (5 \times 27\%) + (5 \times 21\%) + (5 \times 27\%)] = 5$$

$$\text{Solusi 2} : [(3 \times 25\%) + (5 \times 27\%) + (3 \times 21\%) + (3 \times 27\%)] = 3.54$$

$$\text{Solusi 3} : [(5 \times 25\%) + (5 \times 27\%) + (3 \times 21\%) + (3 \times 27\%)] = 4.04$$

Skenario Hubungan Fitur dasar dan fitur tambahan:

Fitur *sensing capability* memiliki keterkaitan yang kuat dengan batas biaya kurang dari Rp 4.000.000. Hal ini karena sensor merupakan komponen utama yang menentukan akurasi sistem, sehingga kualitas dan jumlah sensor yang dipilih akan langsung berpengaruh pada biaya. Dari sisi waktu pengerjaan, hubungannya juga kuat, sebab integrasi dan kalibrasi sensor membutuhkan waktu yang signifikan dalam proses

pengembangan sistem. Dalam hal kemudahan implementasi, hubungan ini juga kuat karena meskipun beberapa sensor mudah dipasang, sebagian lainnya memerlukan konfigurasi lanjutan. Adapun keterkaitannya dengan *user interface* tergolong lemah, karena fungsi *sensing* lebih berfokus pada akuisisi data daripada penyajiannya pada pengguna.

Fitur ***notification capability*** juga menunjukkan hubungan yang kuat dengan hampir semua fitur tambahan. Dengan biaya di bawah Rp 4.000.000, sistem notifikasi masih bisa diimplementasikan dengan memanfaatkan komponen terjangkau seperti modul komunikasi atau integrasi aplikasi pihak ketiga. Dari sisi pengerjaan, hubungannya kuat karena sistem notifikasi relatif cepat diintegrasikan ke dalam sistem utama dalam jangka waktu enam bulan. Untuk kemudahan implementasi, tingkat keterkaitannya juga kuat, karena notifikasi dapat dilakukan dengan metode sederhana seperti LED, *buzzer*, atau pesan digital. Dengan *user interface*, keterkaitannya sangat kuat, karena notifikasi merupakan salah satu cara utama komunikasi sistem dengan pengguna.

Fitur ***computing method*** memiliki hubungan yang lemah terhadap biaya, karena berbagai metode pemrosesan data dapat dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak terbuka tanpa memerlukan biaya besar. Namun, keterkaitannya dengan waktu pengerjaan tergolong sedang karena pemilihan metode pemrosesan membutuhkan pengujian berulang agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Untuk kemudahan implementasi, hubungannya kuat—pemrosesan data sederhana mudah dilakukan, tetapi metode yang lebih kompleks memerlukan keterampilan teknis lebih lanjut. Hubungan dengan *user interface* tergolong kuat, sebab hasil komputasi menjadi dasar informasi yang ditampilkan kepada pengguna.

Fitur ***data storage capability*** menunjukkan hubungan yang kuat dengan hampir semua fitur tambahan. Dari sisi biaya, penyimpanan data dapat diwujudkan dengan solusi lokal yang terjangkau maupun cloud dengan biaya tambahan. Dari sisi waktu pengerjaan, hubungan ini kuat karena membangun sistem penyimpanan memerlukan desain struktur data dan pengujian berulang. Dalam hal kemudahan implementasi,

hubungan juga kuat, sebab penyimpanan data lokal relatif mudah, namun untuk penyimpanan daring dibutuhkan pemahaman lebih lanjut mengenai konektivitas dan keamanan. Hubungan dengan *user interface* pun kuat karena data yang tersimpan menjadi sumber utama informasi yang ditampilkan kepada pengguna.

Skenario Hubungan Fitur Dasar dengan solusi:

Pada fitur dasar *sensing capability*, solusi pertama memiliki keterkaitan yang sangat erat karena sistem berfokus pada pengukuran volume cairan melalui sensor aliran. Solusi kedua memiliki keterkaitan yang lebih rendah karena hanya mengandalkan deteksi sederhana tanpa pengukuran kuantitatif volume. Sedangkan solusi ketiga memiliki keterkaitan erat, karena selain menggunakan sensor aliran, juga melibatkan deteksi visual untuk memastikan cairan benar-benar diminum penggunaan.

Fitur *notification capability* memiliki hubungan yang sangat erat pada ketiga solusi, karena setiap solusi membutuhkan mekanisme pemberitahuan kepada pengguna mengenai status konsumsi cairan harian. Meskipun media notifikasi berbeda-beda (lampu indikator, pesan digital, atau aplikasi), perannya tetap menjadi komponen penting dari keseluruhan sistem.

Fitur *computing method* memiliki keterkaitan sedang dengan semua solusi. Masing-masing solusi memerlukan pemrosesan data, baik untuk membaca sensor, mengolah informasi, maupun memvalidasi aksi pengguna. Namun, tingkat kompleksitasnya masih menengah dan dapat diselesaikan dengan metode komputasi yang tersedia pada perangkat standar, tanpa memerlukan teknologi pemrosesan tingkat lanjut.

Fitur *data storage capability* memiliki keterkaitan sangat erat dengan solusi pertama karena sistem ini menghasilkan data kuantitatif volume cairan yang dapat dilacak dari waktu ke waktu. Pada solusi kedua dan ketiga, keterkaitannya juga penting, namun lebih sederhana karena data yang dihasilkan tidak sebanyak atau sekompleks solusi pertama.

Dari sisi **biaya**, solusi pertama memiliki keterkaitan yang cukup menantang karena menggunakan lebih banyak komponen, meski masih memungkinkan di bawah Rp 4.000.000. Solusi kedua dan ketiga relatif lebih sesuai dengan keterbatasan biaya karena memerlukan komponen yang lebih sedikit. Dari sisi **durasi pengerjaan enam bulan**, semua solusi berada dalam kategori kuat karena masih realistis untuk diwujudkan. Pada aspek **kemudahan implementasi**, solusi kedua dan ketiga lebih unggul karena lebih sederhana, sementara solusi pertama memerlukan penyesuaian lebih kompleks pada perangkat keras. Untuk **user interface**, solusi pertama memiliki keterkaitan paling erat karena dapat dikombinasikan dengan notifikasi visual maupun digital, sedangkan solusi kedua dan ketiga lebih terbatas dalam penyajian datanya.

Secara keseluruhan, setiap solusi menunjukkan tingkat keterkaitan yang berbeda terhadap setiap fitur, yang menunjukkan bahwa masing-masing memiliki keunggulan dalam aspek tertentu sesuai dengan kompleksitas dan tujuan penggunaannya.

1.2.4 Solusi Yang Dipilih

Berdasarkan analisis *House of Quality* (HoQ), **Solusi 1: Galon/Dispenser Pintar** menjadi pilihan terbaik dengan skor tertinggi, melampaui Solusi 2 dan Solusi 3. Solusi ini menghadirkan keseimbangan optimal antara efektivitas teknologi, kemudahan penggunaan, efisiensi biaya, dan waktu implementasi. Dengan kemampuan sensor yang akurat, sistem dapat memantau volume air yang diminum secara real-time. Notifikasi visual atau audio memastikan pengguna tetap teringat untuk menjaga hidrasi secara konsisten.

Pemrosesan data dilakukan secara efisien melalui algoritma sederhana maupun kompleks sesuai kebutuhan, sementara penyimpanan data memungkinkan pemantauan kebiasaan hidrasi jangka panjang. Meskipun menggunakan sistem yang lebih lengkap, solusi ini tetap berada dalam batas biaya wajar dan mudah digunakan, berkat desain antarmuka yang intuitif dan fungsional. Secara keseluruhan, Solusi 1 memberikan pendekatan menyeluruh, andal, dan praktis dalam mendukung pola hidrasi yang sehat, menjadikannya pilihan paling layak untuk diterapkan sehari-hari.