

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Penggunaan sepeda motor di Indonesia telah menjadi bagian penting dari aktivitas masyarakat dalam menjalankan kegiatan sehari-hari. Banyak orang memilih sepeda motor karena dianggap lebih efisien, ekonomis, dan mampu menjangkau tempat-tempat yang tidak dapat diakses oleh kendaraan besar. Namun, meningkatnya jumlah pengendara juga berarti meningkatnya risiko yang mungkin dialami dalam perjalanan, baik dari segi keselamatan, kesehatan, maupun kenyamanan bagi pengendara ataupun saat berkendara. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 125.305.332 unit sepeda motor. Angka tersebut menunjukkan bahwa sepeda motor merupakan moda transportasi yang paling dominan dan digunakan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia untuk menunjang aktivitas sehari-hari, baik untuk bekerja, sekolah, maupun keperluan lainnya [1]. Pengendara sering kali tidak menyadari bahwa berbagai faktor kecil yang tampak sepele justru dapat menimbulkan dampak besar ketika terjadi secara bersamaan.

Keselamatan lalu lintas merupakan aspek penting yang selalu menjadi perhatian utama dalam berbagai diskusi terkait transportasi, baik di tingkat nasional maupun internasional. Setiap pengguna jalan memiliki risiko menghadapi kondisi berbahaya yang dapat memicu kecelakaan, terutama ketika tingkat kepadatan lalu lintas tinggi atau cuaca tidak mendukung. Berbagai lembaga yang mengatur aturan keselamatan transportasi menyebutkan bahwa kecelakaan seringkali dipengaruhi oleh kombinasi faktor pengendara kendaraan, dan lingkungan. Di Indonesia sendiri, kecelakaan lalu lintas terus mengalami peningkatan, dengan kontribusi terbesar berasal dari pengendara sepeda motor. Data dari Kementerian Perhubungan menyebutkan bahwa sekitar 76–79% kecelakaan lalu lintas di Indonesia melibatkan sepeda motor sebagai moda transportasi utama. Hal ini menunjukkan bahwa pengendara motor merupakan kelompok pengguna jalan yang paling rentan sekaligus paling membutuhkan perhatian dalam upaya peningkatan keselamatan berkendara [2].

Selain aspek keselamatan, kenyamanan saat berkendara juga berperan besar dalam menentukan kualitas perjalanan seseorang. Kondisi jalan yang baik, suasana

berkendara yang kondusif, serta perlengkapan pribadi yang layak dapat mempengaruhi kenyamanan pengendara sepanjang perjalanan. Ketika kenyamanan tidak terpenuhi, pengendara cenderung mengalami stres, mudah lelah, dan kurang fokus dalam mengambil keputusan di jalan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ketidaknyamanan dapat mengurangi konsentrasi pengendara dan meningkatkan potensi risiko di jalan raya saat berkendara. Pengendara motor khususnya sering menghadapi tantangan berupa paparan angin, kebisingan, getaran, serta ketidakseimbangan posisi tubuh [3]. Faktor-faktor tersebut dapat memperburuk pengalaman berkendara, terutama bagi mereka yang menempuh perjalanan jauh atau melintasi jalanan padat. Dengan memahami pentingnya kenyamanan, pengendara dapat lebih sadar untuk menyesuaikan posisi berkendara, menggunakan perlengkapan yang memadai, dan mempersiapkan kondisi tubuh sebelum melakukan. Oleh karena itu, kenyamanan harus mendapatkan perhatian yang sama pentingnya seperti keselamatan demi menciptakan perjalanan yang aman dan menyenangkan.

Kesehatan merupakan bagian penting dalam aktivitas berkendara, terutama bagi mereka yang melakukan perjalanan setiap hari atau dalam jangka waktu yang lama. Pengendara yang berada dalam kondisi kurang sehat cenderung memiliki respons yang lebih lambat dan tingkat kewaspadaan yang menurun, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan. Selain itu, paparan polusi, debu, dan kondisi cuaca ekstrem seperti panas berlebih atau hujan terus-menerus dapat berdampak buruk pada kesehatan fisik pengendara. Pengendara motor sering mengalami gangguan seperti iritasi mata hingga keluhan pada otot akibat posisi tubuh yang kurang ideal. Jika dibiarkan terus menerus, gangguan kesehatan tersebut dapat memengaruhi aktivitas sehari-hari pengendara. Oleh karena itu, menjaga kondisi tubuh tetap fit serta memilih perlengkapan berkendara yang bersih dan aman sangat penting. Memahami kondisi kesehatan pribadi juga membantu pengendara menentukan waktu yang tepat untuk berkendara dan kapan perlu beristirahat. Dengan perhatian yang tepat, kesehatan dapat tetap terjaga meskipun aktivitas berkendara dilakukan secara rutin.

Banyak dari faktor tersebut yang sulit dipantau secara langsung dan sering kali luput dari perhatian. Karena itu, penting untuk memahami secara menyeluruh

berbagai risiko yang mungkin muncul selama berkendara sebagai langkah awal untuk meningkatkan keselamatan, kesehatan maupun kenyamanan dalam berkendara. Salah satu risiko yang sering diabaikan oleh pengendara adalah keberadaan titik buta atau blind spot di sekitar kendaraan [4]. Blind spot membuat pengendara tidak dapat melihat kendaraan lain yang berada pada titik tertentu meskipun sudah memeriksa spion. Kondisi ini dapat menjadi sangat berbahaya dan berpotensi menurunkan keselamatan pengendara terutama pada jalan yang padat atau ketika pengendara ingin menyalip kendaraan lain.

Pada penelitian [4] menemukan bahwa seluruh responden pengendara motor pernah mengalami kondisi titik buta atau blind spot ketika berkendara. Dari pengendara yang tidak melakukan antisipasi, sebanyak 44,4% mengalami kecelakaan akibat blind spot, sedangkan pada pengendara yang melakukan antisipasi, angka kecelakaan turun menjadi 23,1%. Dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia, khususnya sepeda motor, urgensi penanganan masalah blind spot menjadi semakin nyata sebagai upaya peningkatan keselamatan dalam berkendara. Besarnya populasi kendaraan roda dua membuat potensi terjadinya kecelakaan akibat blind spot semakin besar apabila tidak ada intervensi teknologi maupun edukasi bagi pengendara. Selain itu, fenomena urbanisasi dan padatnya lalu lintas di kota besar memperparah situasi, karena interaksi antar kendaraan semakin intens dan jarak antar kendaraan semakin dekat. Hal ini membuat pengendara motor lebih sering berada di area blind spot kendaraan lain maupun blind spot mereka sendiri. Oleh karena itu, tanpa adanya solusi yang memadai, blind spot akan tetap menjadi ancaman yang terabaikan bagi keselamatan pengendara motor di Indonesia.

Selain masalah blind spot, ketika berkendara pengendara wajib menggunakan helm sebagai bagian utama keselamatan dalam berkendara roda dua sehingga kondisi helm juga merupakan aspek penting yang sering diabaikan ketika berbicara tentang keselamatan berkendara. Banyak pengendara hanya mengenakan helm sebagai kewajiban hukum tanpa benar-benar memperhatikan kebersihan atau kelayakan bagian dalam helm. Hasil penelitian [5] mengenai kebersihan helm sepeda motor yang dilakukan pada staf pengajar di Birendra Multiple kampus, Bharatpur, Nepal menunjukkan bahwa dari 130 helm yang dianalisis ditemukan

sebanyak 392 isolat bakteri. Jenis bakteri yang paling dominan adalah *Staphylococcus aureus* sebanyak 89 isolat (22,7%), diikuti oleh *Staphylococcus epidermidis* sebanyak 77 isolat (19,6%), dan *Escherichia coli* sebanyak 54 isolat (13,8%). Keberadaan bakteri-bakteri ini menunjukkan bahwa helm yang digunakan sehari-hari oleh pengendara dapat menjadi media pertumbuhan mikroorganisme berbahaya, terutama apabila helm dalam kondisi lembab atau jarang dibersihkan. *Staphylococcus aureus* sendiri dikenal sebagai bakteri patogen yang dapat menimbulkan infeksi pada kulit, termasuk iritasi dan peradangan, sementara *E. coli* merupakan indikator kontaminasi yang sering dikaitkan dengan lingkungan yang tidak higienis. Fakta ini menegaskan bahwa kelembaban pada helm akibat hujan atau keringat dapat memperbesar resiko terjadinya masalah kesehatan kulit kepala, termasuk penyakit seperti *tinea capitis*.

Berdasarkan hasil penelitian [6] mengenai kontaminasi jamur *Dermatophyta* pada helm driver ojek online di Kecamatan Ciracas tahun 2022, ditemukan bahwa 23,3% (7 dari 30) helm positif terkontaminasi jamur *Dermatophyta*, diantaranya genus *Dermatophyta* berupa *Trichophyton mentagrophytes*, *Trichophyton rubrum*, dan *Microsporum canis*. Data ini menunjukkan bahwa helm yang digunakan sehari-hari, terutama dalam jangka waktu lama, dapat menjadi media tumbuhnya jamur penyebab infeksi kulit. Faktor pendukung juga ditemukan dari lama penggunaan helm, di mana 50% (7 dari 14) responden dengan lama penggunaan ≥ 5 tahun terdeteksi terdapat kontaminasi jamur pada helmnya. Dari sisi kebersihan, helm yang dicuci secara rutin memiliki tingkat kontaminasi lebih rendah (12,5%) dibandingkan helm yang tidak pernah dicuci (35,71%). Fakta ini menguatkan bahwa kelembaban, kurangnya kebersihan, serta penggunaan helm secara bergantian seperti pada pengemudi ojek online dengan penumpang dapat meningkatkan risiko penularan jamur *Dermatophyta*. Jamur-jamur tersebut merupakan agen penyebab penyakit *tinea capitis*, yaitu infeksi kulit kepala yang ditandai dengan rasa gatal, kulit bersisik, hingga kerontokan rambut. Dengan demikian, helm yang lembab, jarang dibersihkan, dan dipakai bergantian menjadi faktor risiko utama bagi berkembangnya penyakit kulit kepala yang berbahaya bagi kesehatan pengendara.

Faktor lingkungan seperti hujan juga memberikan tantangan serius bagi keselamatan pengendara saat berkendara, terutama dalam hal jarak pandang atau visibilitas. Ketika hujan deras, kaca helm biasanya tertutupi air sehingga menghalangi pandangan pengendara terhadap kondisi jalan. Hal ini membuat pengendara sulit melihat marka jalan, kendaraan lain, maupun hambatan seperti lubang atau genangan air. Situasi menjadi semakin berbahaya ketika pengendara harus mengusap kaca secara manual karena hal itu membuat tangan tidak selalu berada pada posisi yang aman. Kondisi jarak pandang yang buruk dapat menurunkan kecepatan reaksi pengendara saat menghadapi situasi tak terduga. Selain itu, cahaya dari kendaraan lain dapat memantul pada tetesan air sehingga membuat pandangan semakin kabur. Semua keadaan ini menjadikan hujan sebagai salah satu kondisi paling berisiko bagi pengendara motor. Oleh karena itu, dibutuhkan perhatian khusus pada kaca helm untuk menjaga agar penglihatan tetap optimal selama berkendara terutama pada saat hujan [7].

Selain keselamatan, aspek kenyamanan dan kesehatan fisik pengendara juga memegang peran penting dalam menentukan kualitas pengalaman berkendara. Sepeda motor merupakan moda transportasi utama bagi berbagai profesi seperti driver ojek online, kurir pengiriman barang, dan wisatawan touring yang melakukan perjalanan jarak jauh selama 2-4 jam atau lebih. Meskipun demikian, masih terdapat permasalahan dalam hal kesadaran pengendara terhadap bahaya kondisi duduk berkepanjangan yang dapat menyebabkan ketegangan otot. Penelitian [8] menunjukkan 83% literatur mengindikasikan ketidaknyamanan pada pengendara sepeda motor yang berujung pada kelelahan otot. Banyak pengendara yang tidak menyadari pentingnya melakukan istirahat berkala selama perjalanan panjang, sehingga mereka tidak mengetahui kapan tubuh mereka sudah mencapai batas ketegangan yang berbahaya. Hal ini menyebabkan risiko kram otot tiba-tiba yang dapat mengganggu kontrol kendaraan.

Menurut studi [9] menunjukkan bahwa kurangnya sistem pemantauan kondisi pengendara merupakan salah satu penyebab tingginya risiko kecelakaan sepeda motor. Salah satu tantangan terbesar adalah tidak adanya sistem peringatan dini otomatis yang dapat membantu pengendara mendeteksi durasi duduk statis serta memberikan alert sebelum terjadi ketegangan otot yang berbahaya. Minimnya

kesadaran mengenai durasi duduk yang aman membuat pengendara tidak memiliki tolok ukur kapan harus berhenti atau mengubah posisi, sehingga risiko ketegangan otot semakin besar.

Berbagai permasalahan tersebut menunjukkan bahwa pengendara sepeda motor menghadapi kondisi yang kompleks dan saling berkaitan satu sama lain. Pada situasi nyata, pengendara tidak hanya berhadapan dengan satu masalah, tetapi sering kali menghadapi beberapa faktor secara bersamaan, seperti hujan yang mengurangi jarak pandang, kondisi jalan yang padat, helm yang kurang nyaman, hingga postur tubuh yang tidak ideal. Ketika semua faktor ini muncul dalam satu perjalanan, risiko yang dihadapi pengendara dapat meningkat secara signifikan yang berkaitan dengan keselamatan, kesehatan dan kenyamanan pengendara. Hal ini menunjukkan bahwa upaya peningkatan keselamatan dan kenyamanan berkendara harus dilakukan dengan melihat berbagai aspek secara menyeluruh. Pemahaman yang komprehensif mengenai faktor lingkungan, peralatan berkendara seperti helm, dan kondisi fisik pengendara dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai tantangan yang sebenarnya dihadapi di lapangan. Dengan memahami permasalahan tersebut secara detail, diharapkan kedepannya dapat ditemukan pendekatan atau solusi yang mampu membantu pengendara dalam mengurangi risiko selama berkendara.

Dari penjelasan masalah yang diangkat, dimana ada *stakeholder* yang berpengaruh dalam masalah ini yaitu sebagai berikut :

1. Pengendara Sepeda Motor

Pengendara yang sadar akan keselamatan memperoleh keuntungan berupa kemampuan mengantisipasi risiko secara lebih baik. Adapun beberapa jenis pengendara yang menjadi stakeholder dari beberapa permasalahan ini diantaranya yaitu pengemudi ojek online, kurir, mahasiswa dan beberapa pengendara sepeda motor yang sehari harinya bekerja dan menghabiskan waktu bersama sepeda motor. Dengan memahami blind spot, menjaga kebugaran dan menghindari kelelahan, serta merawat kaca helm dan helm agar tetap bersih dan kering, pengendara bisa meningkatkan kewaspadaan dan mengurangi peluang terjadinya kecelakaan. Kebiasaan ini juga meningkatkan kenyamanan

dan rasa percaya diri saat berkendara karena pengendara memastikan dirinya dalam kondisi fisik dan lingkungan yang mendukung keselamatan.

2. Platform Transportasi & Ojek Online

Keterlibatan platform transportasi memberi keuntungan berupa penerapan standar keselamatan yang lebih sistematis bagi pengendara profesional. SOP terkait batas jam kerja, penggunaan pelindung helm, serta pelatihan keselamatan dapat menurunkan tingkat kelelahan dan mengurangi risiko infeksi dari helm bergantian. Dengan pengawasan yang terstruktur, pengendara dapat bekerja lebih aman dan efisien, sementara perusahaan meningkatkan kualitas layanan dan keselamatan penumpang.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Blind spot pada sepeda motor umumnya berada di sisi kiri dan kanan bagian belakang dengan sudut sekitar $\pm 45^\circ$ serta area kurang lebih $2,4 \text{ m}^2$ yang tidak dapat dijangkau oleh kaca spion. Posisi ini membuat pengendara sulit mengetahui adanya kendaraan lain yang melintas, terutama ketika mereka hanya mengandalkan spion bawaan motor. Hal ini sejalan dengan temuan dalam jurnal yang menyatakan bahwa area tersebut memang tidak sepenuhnya dapat dipantau menggunakan spion standar [10]. Keterbatasan jangkauan spion semakin memperbesar risiko blind spot, mengingat spion bawaan motor umumnya hanya mampu memberikan cakupan pandang sekitar 15° – 20° ke samping [11]. Akibatnya, area belakang-samping motor tetap tidak terlihat tanpa menoleh langsung, sehingga banyak pengendara tidak menyadari keberadaan kendaraan lain yang berada sangat dekat di sisi kiri maupun kanan [11].

Kondisi ini diperburuk oleh faktor ergonomi, khususnya penggunaan helm yang secara tidak langsung membatasi pandangan pengendara. Studi internasional *Effect of Full-Face and Half-Face Helmet on Functional Vision and Visual Reaction Time* menunjukkan bahwa pemakaian helm dapat memengaruhi stereopsis serta waktu reaksi visual. Helm full-face yang memberikan perlindungan lebih baik justru dapat mempersempit bidang pandang perifer, sedangkan helm half-face memang menawarkan pandangan yang lebih luas namun tetap memiliki keterbatasan dalam persepsi visual terhadap objek di sekitar. Akibatnya, pengendara sering kali bergantung penuh pada spion yang pada dasarnya juga memiliki keterbatasan [12].

Selain faktor peralatan, kondisi jalan di Indonesia turut memperparah permasalahan blind spot. Jalan yang padat dengan arus lalu lintas tinggi sering memaksa sepeda motor berjalan sangat dekat atau berdampingan dengan kendaraan besar seperti bus atau truk. Keberadaan kendaraan besar ini menghalangi pandangan ke sisi samping, sehingga pengendara motor semakin sulit melihat kondisi jalan secara menyeluruh [13].

Di luar isu blind spot, berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa kelelahan fisik merupakan faktor signifikan yang mempengaruhi keselamatan berkendara. Pada penelitian ini, masalah yang diangkat terkait dengan kelelahan pengendara sepeda motor akibat posisi duduk statis dalam perjalanan jarak jauh. Sepeda motor merupakan jenis transportasi dominan di Indonesia dengan berbagai karakteristik yang mempengaruhi kenyamanan berkendara [6]. Posisi duduk di motor bikin tekanan numpuk terus di area pantat, paha, sama betis. Beda sama naik mobil yang ada sandaran lengkap dan beban tubuh lebih rata, pengendara motor itu tekanannya terpusat banget di titik-titik yang nempel ke jok. Makanya pas perjalanan jauh, area bawah tubuh ini yang paling cepat capek dan rentan kram. [6],[7]. Hal ini menyebabkan pengendara lebih rentan mengalami kelelahan otot, terutama pada perjalanan jarak jauh yang membutuhkan waktu berkendara dalam durasi yang panjang [6].

1. Mekanisme Fisiologis Kelelahan Otot

Kelelahan otot pada pengendara sepeda motor merupakan fenomena biomekanikal kompleks yang melibatkan interaksi antara beban mekanis statis dan respons fisiologis jaringan muskuloskeletal. Posisi berkendara mengharuskan aktivasi simultan berbagai kelompok otot untuk mempertahankan stabilitas postural dalam durasi berkepanjangan.

2. Kelompok Otot yang Terlibat

Analisis biomekanikal menunjukkan bahwa posisi duduk pada sepeda motor melibatkan beberapa kelompok otot utama yang mengalami beban statis [6],[14]. *Gluteus maximus* sebagai struktur utama penerima beban kompresi vertikal dari massa tubuh pengendara [14]. *Hamstring group* (*biceps femoris*, *semitendinosus*, *semimembranosus*) mengalami elongasi

statis akibat fleksi hip dan knee joint [6]. *Quadriceps group* (*rectus femoris*, *vastus lateralis*, *vastus medialis*) mempertahankan kontraksi isometrik untuk stabilitas lower limb [14]. *Erector spinae* berfungsi sebagai stabilisator columna vertebralis terhadap gravitasi dan akselerasi kendaraan [16]. *Gastrocnemius* dan *soleus* mengontrol ankle joint pada footrest [14].

3. Patofisiologi Kelelahan Otot

Kelelahan otot terjadi melalui beberapa jalur patofisiologis yang saling berinteraksi. Kompresi jaringan lunak berkepanjangan menyebabkan iskemia lokal akibat peningkatan tekanan interstisial yang melebihi tekanan perfusi kapiler (>32 mmHg), mengakibatkan hipoksia jaringan dan gangguan delivery oksigen serta substrat metabolik [14]. Kontraksi isometrik prolonged pada kondisi perfusi suboptimal menyebabkan akumulasi metabolit fatiguing seperti ion hidrogen, fosfat anorganik, dan laktat yang mengganggu coupling excitation-contraction pada level sarkomer [6]. Deplesi cadangan energi lokal berupa glikogen otot dan fosfokreatin pada kondisi metabolisme anaerobik parsial berkontribusi terhadap penurunan force-generating capacity [14]. Gangguan fungsi proprioseptif akibat fatigue mechano-receptor dan muscle spindle menyebabkan deteriorasi koordinasi neuromuskular dan penurunan motor control precision [6].

4. Korelasi Distribusi Tekanan Interface dengan Timbulnya Kelelahan

Studi Arunachalam et al. [14] menggunakan metodologi simultan *surface electromyography* (sEMG) dan *seat interface pressure mapping* mendemonstrasikan korelasi signifikan antara magnitude dan durasi tekanan lokal dengan indikator objektif kelelahan otot. Peningkatan tekanan pada region spesifik berkorelasi positif dengan elevated EMG amplitude, mengindikasikan compensatory muscle activation. Temporal shift pada pressure distribution pattern mencerminkan behavioral adaptation pengendara terhadap discomfort localized [14]. Analisis regresi menunjukkan bahwa durasi eksposur tekanan >50 mmHg memiliki hubungan linear dengan fatigue severity index subjektif ($r=0.78$, $p<0.01$) [14]. Temuan ini memvalidasi pendekatan *proxy-based measurement*

menggunakan pressure sensing dan temporal parameter sebagai estimator fatigue risk yang feasible secara praktis meskipun tidak melakukan direct measurement aktivitas bioelektrik otot [6],[14].

Data menunjukkan bahwa 78% pengendara sepeda motor mengalami kelelahan otot setelah berkendara selama 2 jam tanpa istirahat, yang ditandai dengan nyeri punggung bawah, kram di paha dan betis, serta penurunan konsentrasi [14]. Sejalan dengan itu, Korlantas Polri mencatat bahwa 76% dari 79.220 kasus kecelakaan sepeda motor melibatkan faktor human error, termasuk kelelahan pengendara yang berdampak pada *delayed reaction time* dan *poor judgment* [15]. Studi ergonomi pun mengungkapkan bahwa duduk statis lebih dari 90 menit dapat menurunkan performa kontrol kendaraan hingga 35%, terutama dalam kemampuan manuver darurat dan stabilitas pengereman [16]. Temuan ini diperkuat oleh survei YLKI yang menunjukkan bahwa 89% pengendara ojek online mengalami keluhan punggung dan pinggang akibat berkendara 6–8 jam per hari, bahkan 34% di antaranya membutuhkan terapi fisik reguler [17].

Sementara itu, helm sebagai perangkat keselamatan wajib juga memiliki standar tertentu agar dapat memberikan perlindungan optimal bagi pengendara saat berkendara. Berdasarkan ketentuan SNI, helm terdiri dari tempurung keras (shell), lapisan peredam benturan (impact absorber), dan tali pengikat dagu (chin strap), yang keseluruhannya dirancang untuk meminimalkan cedera saat kecelakaan terjadi [18]. Standar ini mencakup ukuran tinggi minimal 114 mm serta ukuran lingkar dalam mulai dari S (500–540 mm) hingga XL (lebih dari 620 mm) agar sesuai dengan berbagai ukuran kepala pengguna [18].

Selain itu helm memiliki berat yang berbeda pada masing masing tipenya. Helm half-face, yang hanya menutupi bagian atas kepala, umumnya memiliki berat paling ringan yaitu kurang dari 900 gram. Jenis helm berikutnya adalah open-face ($\frac{3}{4}$ face atau jet) dengan berat sekitar 1,4 kg, yang memberikan perlindungan lebih luas dibanding helm half-face namun masih terbuka di bagian wajah. Helm full-face atau integral dikenal sebagai helm dengan tingkat perlindungan paling tinggi karena menutupi seluruh kepala hingga area dagu, dengan berat rata-rata antara 1.400 hingga 1.800 gram. Sementara itu, helm modular (flip-up) yang memiliki

mekanisme lipat pelindung dagu, biasanya memiliki bobot lebih berat, bahkan dapat melebihi 1.800 gram [19].

Material tempurung helm harus keras, homogen, dan memiliki ketebalan merata untuk memastikan kekuatan terhadap benturan. Tempurung tidak boleh menyatu dengan pelindung wajah atau mata dan tidak boleh memiliki penguatan khusus di titik tertentu agar distribusi kekuatannya tetap seragam. Lapisan peredam benturan di bagian dalam harus memiliki ketebalan minimal 10 mm dan dapat dilengkapi jaring helm sebagai penunjang fungsi menyerap energi benturan [18]. Tali pengikat dagu juga wajib memenuhi ketentuan lebar minimal 20 mm serta dilengkapi penutup telinga dan tengkuk demi kenyamanan dan keamanan tambahan. Dari sisi desain, tempurung tidak boleh memiliki tonjolan lebih dari 5 mm dan tidak boleh ada bagian tepi tajam yang berisiko melukai pengguna [18]. Selain aspek proteksi mekanik, helm harus dirancang agar tidak mengganggu pandangan pengendara. Standar sudut pandang minimal ditetapkan sebesar 105° secara horizontal pada setiap sisi serta 30° ke atas dan 45° ke bawah secara vertikal. Helm juga wajib dilengkapi fitur tambahan seperti pelindung telinga, penutup leher, visor tambahan, tameng pelindung wajah, dan pelindung dagu [18].



Gambar 1. 1 Helm SNI

Permasalahan pada helm tidak hanya terkait aspek keselamatan, tetapi juga kondisi lingkungan pemakaiannya. Secara umum, suatu lingkungan dikatakan lembab apabila tingkat kelembaban relatif berada pada rentang 30%–80%, sedangkan kondisi basah terjadi pada kelembaban diatas 80% hingga 100%. Sementara itu, lingkungan dengan kelembaban di bawah 30% tergolong kering [20]. Kelembaban yang tinggi pada helm dapat memicu pertumbuhan bakteri dan jamur, sehingga diperlukan metode efektif untuk mensterilkan helm agar bakteri dan jamur tidak berkembang. Penelitian [21] menunjukkan bahwa paparan panas

pada suhu 45 °C mampu mereduksi bakteri secara signifikan, yaitu hingga 96,8% pada *Escherichia coli* dan 95,2% pada *Staphylococcus aureus*. Selain itu, penyinaran UV juga terbukti efektif. Paparan UVC dengan dosis $\geq 0,4 \text{ J/cm}^2$ dan UVB $\geq 0,8 \text{ J/cm}^2$ mampu menurunkan jumlah jamur dermatofita seperti *Microsporum gallinae* melalui kerusakan struktur DNA dan membran sel. Temuan ini menunjukkan bahwa radiasi UVC berpotensi untuk diterapkan pada masalah helm lembab yang terkontaminasi jamur, karena prinsip kerjanya serupa dalam menghambat pertumbuhan dermatofita [22].

Adapun solusi yang telah ada untuk menangani permasalahan dalam berbagai aspek keamanan yang terdiri dari keselamatan, kenyamanan dan kesehatan berkendara motor yaitu:

Tabel 1. 1 Solusi yang telah ada

Masalah Bahaya Blind Spot pada Sepeda Motor		
Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Kaca Spion Tambahan (<i>Wide View Mirror</i>)	Spion ini adalah mudah dipasang, tidak membutuhkan daya listrik, serta harganya terjangkau	Distorsi visual yang membuat pengendara kesulitan memperkirakan jarak kendaraan lain, sehingga dapat menimbulkan kebingungan terutama pada kondisi lalu lintas padat
Kamera Mini atau Action Cam	Dapat menambah cakupan visual yang lebih luas dibandingkan hanya mengandalkan spion	Pengendara tetap harus melihat layar kecil atau rekaman kamera, yang berarti perhatian dapat teralihkan dari jalan
<i>Blind Spot Monitoring</i> (BSM) pada	Bekerja otomatis dan <i>real-time</i> , sehingga tidak	Keterbatasan ruang, biaya produksi yang tinggi, serta tuntutan akan perangkat

Kendaraan Bermotor	membebani konsentrasi pengendara	keras yang tahan terhadap kondisi ekstrem seperti getaran, hujan, dan debu
Masalah Ergonomi dan Kelelahan Pengendara		
Solusi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Motorcycle Vibration Alert System</i>	Solusi berbasis hardware yang melakukan monitoring getaran kendaraan secara real-time	Sistem ini hanya terfokus pada deteksi getaran dan belum mampu menganalisis postur pengendara secara menyeluruh
<i>Mobile Apps (Break Reminder)</i>	Aplikasi yang mudah diimplementasikan	Masih mengandalkan manual input dari pengguna dan tidak dapat melakukan monitoring secara otomatis
<i>Pressure-sensitive Seat</i>	Sistem yang mampu mendeteksi perubahan distribusi tekanan dan pola duduk pengendara	Terbatas hanya pada deteksi tekanan dasar dan belum mampu memberikan analisis komprehensif terhadap kondisi kelelahan pengendara
Masalah Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan		
Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Cairan Coating Anti-Hujan (Rain Repellent)	Harga murah dan bisa digunakan disemua jenis helm dan visor.	Efeknya hanya sementara sehingga sering diaplikasikan ulang setelah berkendara.
Visor Anti-Fog	Membuat air hujan cepat turun dan tidak perlu dirawat terlalu sering.	Kurang efektif dalam hujan deras dan tidak bisa dibersihkan dengan

		sembarangan cairan karena dapat merusak pelindung.
Pinlock Anti-Fog	Mengurangi risiko pandangan kabur akibat pengembunan di bagian dalam visor.	Tidak mengatasi masalah tetesan air hujan di luar visor, sehingga penglihatan tetap bisa terganggu saat hujan deras.
Mengusap dengan tangan	Tidak membutuhkan biaya.	Sangat berbahaya karena tangan harus lepas dari stang motor. Selain itu hanya membersihkan sementara, air akan kembali menempel dengan cepat.
Masalah Kesehatan Helm dalam Kondisi Lembab atau Basah		
Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Penyemprotan	Cepat mengurangi bau menyengat dari helm lembab, praktis, bisa dilakukan kapan saja tanpa alat khusus	Jika helm tetap lembab, jamur masih bisa tumbuh, penyemprotan berlebihan bisa membuat busa helm makin lembab dimana akan memperburuk kondisi
Pengeringan dengan sinar matahari langsung	Membantu menekan pertumbuhan, cara alami, murah, dan tidak membutuhkan bahan kimia tambahan	Tidak bisa dilakukan saat musim hujan atau cuaca mendung, paparan sinar matahari berlebihan dapat membuat warna helm pudar

Mencuci Helm langsung	Membersihkan kotoran, minyak, dan keringat yang menjadi media pertumbuhan jamur, mengurangi bau tidak sedap	Membutuhkan waktu lama untuk mengeringkan helm setelah dicuci, jika tidak dikeringkan sempurna kelembaban bisa menjadi tempat jamur tumbuh kembali
-----------------------	---	--

1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain

Berdasarkan penjelasan pada informasi pendukung masalah, dapat disimpulkan bahwa pengendara sepeda motor menghadapi berbagai risiko yang tidak berdiri sendiri, melainkan saling berkaitan antara aspek keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan. Permasalahan tersebut muncul akibat keterbatasan teknis kendaraan, kondisi lingkungan jalan, faktor manusia, serta belum optimalnya penerapan teknologi pendukung keselamatan berkendara. Oleh karena itu, diperlukan analisis masalah dari berbagai aspek untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kendala nyata (konstrain) yang harus diperhatikan dalam perancangan solusi. Analisis ini bertujuan agar solusi yang dikembangkan tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga relevan secara sosial, aman digunakan, serta sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Analisis masalah difokuskan pada empat permasalahan utama, yaitu bahaya blind spot, keterbatasan visibilitas saat hujan, kondisi kesehatan helm yang lembab, serta ergonomi dan kelelahan pengendara.

1.1.2.1 Analisis Masalah Bahaya Blind Spot pada Sepeda Motor

1. Aspek Lingkungan

Blind spot merupakan salah satu faktor utama yang meningkatkan risiko terjadinya tabrakan samping, terutama ketika sepeda motor berpindah jalur atau berada di sekitar kendaraan lain. Sepeda motor sering kali tidak terlihat oleh kendaraan di sekitarnya, sehingga pengendara berada pada kondisi yang sangat rawan kecelakaan. Situasi ini semakin berbahaya pada lalu lintas padat, di mana jarak antar kendaraan sangat dekat dan waktu reaksi menjadi lebih singkat.

2. Aspek Teknis

Kaca spion standar pada sepeda motor memiliki sudut pandang yang terbatas yaitu 15° - 20° sehingga tidak mampu menutup seluruh area di sekitar kendaraan. Keterbatasan ini diperparah oleh desain sepeda motor yang ringkas serta posisi duduk pengendara yang bervariasi, sehingga area tertentu di sisi kendaraan tidak dapat dipantau secara optimal. Akibatnya, pengendara sangat bergantung pada persepsi visual yang terbatas.

3. Aspek Manusia (*human factor*)

Kemampuan pengendara dalam mendeteksi keberadaan kendaraan lain sangat dipengaruhi oleh faktor usia, tingkat konsentrasi, kondisi mata, serta jenis helm yang digunakan. Selain itu, kebiasaan pengendara yang tidak melakukan pengecekan bahu (*shoulder check*) sebelum berpindah jalur semakin memperbesar kemungkinan tidak menyadari kendaraan lain yang berada di area blind spot. Faktor kelelahan dan distraksi juga berkontribusi terhadap menurunnya kewaspadaan pengendara.

4. Aspek Lingkungan Jalan

Kondisi lalu lintas yang padat dan jalan yang sempit menyebabkan sepeda motor lebih sering berada di area *blind spot* kendaraan besar seperti mobil dan truk. Faktor cuaca buruk, seperti hujan dan kabut, serta minimnya penerangan jalan juga semakin mengurangi jarak pandang pengendara dan meningkatkan risiko kecelakaan.

5. Aspek Regulasi dan Teknologi.

Hingga saat ini, regulasi di Indonesia belum mengatur secara rinci standar sudut pandang spion sepeda motor, serta belum mewajibkan penggunaan sistem pendeteksi blind spot pada kendaraan roda dua. Meskipun teknologi pendeteksi blind spot telah banyak diterapkan pada kendaraan roda empat menggunakan sensor radar atau kamera, penerapannya pada sepeda motor masih terbatas akibat keterbatasan ruang, biaya, dan konsumsi daya. Namun demikian, peluang pengembangan solusi berbasis sensor sederhana dan teknologi IoT masih sangat terbuka.

6. Aspek Standar dan Regulasi

Sistem dapat mematuhi standar keselamatan jalan raya misalnya Peraturan UNECE R151 tentang *Blind Spot Information System* (BSIS) yang menetapkan

syarat minimal kinerja sistem *blind spot*, seperti jarak deteksi minimum, tingkat keandalan alarm, serta respon waktu peringatan yang harus berada pada ambang batas tertentu [23].

1.1.2.2 Analisis Masalah Ergonomi dan Kelelahan Pengendara

1. Aspek Kesehatan

Posisi duduk dalam durasi lama menyebabkan tekanan yang konstan pada area pantat dan paha, sehingga berpotensi menimbulkan kelelahan otot, gangguan sirkulasi darah, dan kram mendadak. Kondisi ini umum dialami oleh pengendara jarak jauh dan pengemudi transportasi daring.

2. Aspek Keselamatan.

Kelelahan pengendara berkontribusi terhadap peningkatan waktu reaksi dan penurunan kewaspadaan, yang secara langsung meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas.

3. Aspek Ekonomi.

Gangguan kesehatan akibat kelelahan berdampak pada penurunan produktivitas dan meningkatnya biaya pengobatan. Hal ini memberikan beban ekonomi tambahan bagi pengendara maupun sistem kesehatan.

4. Aspek Teknologi.

Masih terbatasnya pemanfaatan teknologi pemantauan kondisi fisik pengendara pada sepeda motor membuka peluang pengembangan sistem monitoring berbasis sensor untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan berkendara.

5. Aspek Standar dan Regulasi

Evaluasi kenyamanan dan keamanan tempat duduk kendaraan bermotor mengacu pada standar ISO 2631-1:1997 yang mengatur metode pengukuran dan analisis paparan getaran seluruh tubuh (*whole-body vibration*) dalam rentang frekuensi 0,5 Hz hingga 80 Hz untuk aspek kesehatan, kenyamanan, dan persepsi pengendara [24]. Standar ini menetapkan metode *frequency-weighted root-mean-square (RMS) acceleration* untuk mengevaluasi tingkat paparan getaran yang ditransmisikan melalui permukaan duduk, sandaran, dan kaki pengendara. Sementara itu, desain ergonomi tempat kerja dan ruang kontrol yang bertujuan mengurangi beban fisik dan mental operator dapat merujuk pada standar ISO 11064-4:2013 yang mencakup prinsip-prinsip

ergonomi untuk tata letak dan dimensi stasiun kerja berbasis tampilan visual [25]. Di tingkat internasional, Regulasi Uni Eropa (EU) 2019/2144 telah mewajibkan sistem *Driver Drowsiness and Attention Warning* (DDAW) pada kendaraan kategori M dan N dengan kecepatan maksimum di atas 70 km/h, yang berlaku untuk tipe kendaraan baru mulai 6 Juli 2022 dan seluruh kendaraan baru mulai 7 Juli 2024 [26]. Namun, regulasi ini belum mencakup kendaraan roda dua. Di Indonesia, belum terdapat regulasi khusus yang mewajibkan standar ergonomi jok atau sistem deteksi kelelahan pada kendaraan roda dua, sehingga diperlukan adopsi dan adaptasi standar internasional untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan pengendara sepeda motor.

1.1.2.3 Analisis Masalah Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan

1. Aspek Lingkungan

Hujan deras menyebabkan tetesan air menempel pada kaca helm sehingga secara langsung mengurangi jarak pandang pengendara terhadap kondisi jalan. Air hujan yang terus menempel dan mengalir pada kaca helm membuat pandangan menjadi kabur dan sulit fokus.

2. Aspek Keselamatan.

Penurunan jarak pandang ini membuat pengendara kesulitan mengidentifikasi marka jalan, kendaraan lain, maupun potensi bahaya seperti lubang dan genangan air. Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan, terutama ketika pengendara harus mengambil keputusan dalam waktu singkat.

3. Aspek Ekonomi dan Sosial

Kecelakaan lalu lintas akibat jarak pandang yang terbatas saat hujan menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar, meliputi biaya pengobatan, perbaikan kendaraan, serta hilangnya pendapatan akibat korban tidak dapat bekerja selama masa pemulihan. Dampak ini tidak hanya dirasakan oleh korban, tetapi juga oleh keluarga dan lingkungan sekitarnya.

4. Aspek Kesehatan

Kecelakaan yang terjadi dapat menimbulkan trauma fisik dan psikologis bagi korban, sehingga menurunkan kualitas hidup dan rasa percaya diri dalam berkendara. Selain itu, paparan hujan dalam waktu lama juga dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti flu dan penyakit lainnya.

5. Aspek Standar dan Regulasi

Helm pengendara sepeda motor wajib memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 1811:2007 tentang helm pelindung kepala bagi pengendara kendaraan bermotor roda dua [27]. Standar ini mengatur aspek perlindungan kepala, kekuatan struktur helm, serta material kaca agar mampu memberikan perlindungan optimal dan tidak mengganggu pandangan pengendara.

1.1.2.4 Analisis Masalah Kesehatan Helm dalam Kondisi Lembab atau Basah

1. Aspek Kesehatan

Helm yang lembab atau basah berpotensi menjadi media pertumbuhan bakteri dan jamur dermatofita. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya gangguan kesehatan kulit kepala, seperti tinea capitis, terutama pada helm yang digunakan secara bergantian.

2. Aspek Sosial

Penggunaan helm yang tidak higienis dapat menurunkan kenyamanan dan rasa aman pengguna, khususnya pada layanan transportasi roda dua. Ketidaknyamanan ini dapat mengurangi kepercayaan penumpang serta menurunkan kualitas interaksi sosial antara pengemudi dan pengguna jasa.

3. Aspek Etika

Menyediakan helm dalam kondisi bersih dan sehat merupakan bentuk tanggung jawab moral bagi pengemudi sepeda motor, terutama pengemudi ojek online. Hal ini mencerminkan kepedulian terhadap keselamatan dan kesehatan pengguna helm.

4. Aspek Teknis

Solusi yang diterapkan harus mempertimbangkan keterbatasan ruang, variasi ukuran helm, serta material helm yang sensitif terhadap panas. Sistem tidak boleh merusak struktur helm atau menimbulkan suhu berlebih yang membahayakan pengguna.

5. Aspek Standar dan Regulasi

Standar yang berkaitan dengan penyinaran inframerah mengacu pada ISO 20473, yang mengklasifikasikan radiasi inframerah menjadi tiga kategori utama berdasarkan panjang gelombangnya. Kategori tersebut meliputi Near-Infrared (NIR) dengan rentang panjang gelombang 0,78 – 3 μm , Mid-Infrared (MIR)

dengan rentang 3,0 – 50 μm , serta Far-Infrared (FIR) dengan rentang 50 – 1000 μm . Dimana radiasi infrared pada rentang NIR hingga MIR dinilai paling efektif untuk menghasilkan panas yang cukup guna mengeringkan kelembapan pada helm tanpa merusak lapisan pelindung atau struktur bahan helm itu sendiri [28]. Standar penyinaran UV-C mengacu pada sistem klasifikasi ultraviolet yang ditetapkan dalam ISO 21348, di mana radiasi UV-C didefinisikan sebagai radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang antara 100 hingga 280 nanometer (nm). Rentang panjang gelombang ini dikenal paling efektif dalam menonaktifkan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur melalui proses perusakan struktur DNA dan RNA [29]. Standar yang berkaitan dengan penggunaan ozon mengacu pada ISO 1431, yang membahas pengujian ketahanan material seperti karet dan plastik terhadap paparan ozon. Standar ini penting karena ozon memiliki sifat oksidatif kuat yang dapat menyebabkan degradasi pada material non-logam jika tidak diperhatikan dalam perancangan alat. Dengan mengacu pada ISO 1431, standar ini membantu memastikan bahwa penggunaan ozon sebagai agen sterilisasi tidak hanya efektif dalam membunuh bakteri dan jamur, tetapi juga aman bagi material di sekitar sistem serta memperpanjang umur pakai perangkat sterilisasi [30].

1.1.2.5 Konstrain Permasalahan Bahaya Blind Spot pada Sepeda Motor dan Ergonomi Serta Kelelahan Pengendara

Adapun konstrain untuk permasalahan bahaya blind spot pada sepeda motor dan ergonomi serta kelelahan pengendara yang terdapat pada sistem ini yaitu:

1. Sistem harus berukuran ringkas dan tidak mengganggu ergonomi pengendara. Constraint ini dirumuskan untuk memastikan bahwa pemasangan sistem pendeteksi blind spot dan pemantauan kelelahan tidak mengganggu posisi duduk, gerak tubuh, maupun kenyamanan pengendara. Sepeda motor memiliki ruang pemasangan yang terbatas, sehingga sistem harus dirancang dengan dimensi yang kompak dan penempatan yang tepat agar tidak menimbulkan kelelahan tambahan atau distraksi selama berkendara.
2. Sistem hanya berfungsi sebagai alat bantu keselamatan, bukan pengganti kewaspadaan pengendara.

Constraint ini menegaskan bahwa sistem yang dirancang bersifat advanced rider assistance system (ARAS) yang bertujuan untuk meningkatkan kewaspadaan pengendara terhadap kondisi blind spot dan indikasi kelelahan. Sistem tidak dirancang untuk menggantikan pengambilan keputusan pengendara sepenuhnya, sehingga tanggung jawab keselamatan tetap berada pada pengendara.

3. Sistem memiliki konsumsi daya rendah dan kompatibel dengan kelistrikan sepeda motor.

Constraint ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat dioperasikan tanpa membebani sistem kelistrikan sepeda motor. Penggunaan sensor, mikrokontroler, dan aktuator harus mempertimbangkan efisiensi daya agar sistem dapat bekerja secara stabil dalam jangka waktu lama tanpa menyebabkan gangguan pada fungsi kelistrikan utama kendaraan.

4. Sistem mampu memberikan peringatan yang sederhana, jelas, dan tidak menimbulkan distraksi.

Constraint ini dirumuskan untuk mengakomodasi keterbatasan faktor manusia, khususnya pada kondisi lalu lintas padat dan saat pengendara mengalami kelelahan. Peringatan blind spot dan kelelahan harus disampaikan melalui indikator visual, audio, atau getaran dengan intensitas yang cukup untuk dikenali, namun tidak berlebihan sehingga tidak mengganggu konsentrasi atau meningkatkan risiko kecelakaan.

5. Sistem deteksi blind spot dibatasi pada jarak dan sudut tertentu sesuai kemampuan sensor.

Constraint ini menegaskan bahwa sistem tidak dirancang untuk mendeteksi seluruh area di sekitar sepeda motor secara menyeluruh. Jarak dan sudut deteksi disesuaikan dengan spesifikasi sensor yang digunakan serta keterbatasan pemasangan pada sepeda motor. Oleh karena itu, sistem hanya difokuskan pada area kritis blind spot yang paling berisiko terhadap tabrakan samping.

6. Sistem pemantauan kelelahan hanya memberikan indikasi awal dan tidak bersifat diagnosis medis.

Constraint ini bertujuan untuk membatasi fungsi sistem agar tetap berada pada ranah keselamatan berkendara. Sistem hanya memantau parameter ergonomi

atau kondisi berkendara tertentu yang berkaitan dengan potensi kelelahan, tanpa melakukan analisis medis atau penentuan kondisi kesehatan pengendara secara klinis.

7. Sistem dirancang dengan mengacu pada standar internasional yang relevan tanpa kewajiban pemenuhan penuh.

Constraint ini dirumuskan mengingat belum adanya regulasi nasional yang mewajibkan sistem pendeteksi blind spot dan kelelahan pada sepeda motor. Oleh karena itu, perancangan sistem mengacu pada standar internasional seperti UNECE R151 untuk blind spot serta ISO 2631-1 dan ISO 11064-4 untuk aspek ergonomi, namun penerapannya disesuaikan dengan karakteristik kendaraan roda dua.

1.1.2.6 Konstraiin Permasalahan Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan dan Permasalahan Kesehatan Akibat Kondisi Helm Lembab atau Basah

Adapun konstrain untuk permasalahan keterbatasan jarak pandang saat hujan dan permasalahan kesehatan akibat kondisi helm lembab atau basah yang terdapat pada sistem ini yaitu:

1. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara.

Constraint ini dirumuskan untuk memastikan bahwa penambahan sistem wiper helm tidak menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna. Beban berlebih pada kepala pengendara dapat menyebabkan kelelahan, menurunkan konsentrasi, serta berpotensi mengganggu keselamatan saat berkendara. Oleh karena itu, desain sistem harus memperhatikan pemilihan material dan komponen yang ringan tanpa mengorbankan fungsi dan ketahanan perangkat.

2. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm.

Constraint ini menegaskan bahwa sistem yang dirancang harus bersifat terintegrasi dan dapat beroperasi secara mandiri pada setiap helm pengguna. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas penggunaan, kemudahan pemasangan. Dengan satu unit sistem pada setiap helm, pengguna dapat memperoleh fungsi wiper serta pengeringan dan sterilisasi secara optimal sesuai kebutuhan masing-masing.

3. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan.

Constraint ini bertujuan untuk memudahkan proses perawatan, perbaikan, maupun penggantian komponen apabila terjadi kerusakan. Sistem yang mudah dirakit dan dibongkar akan mengurangi waktu serta biaya perawatan, sekaligus meningkatkan umur pakai perangkat. Selain itu, desain modular juga mempermudah proses produksi dan pengembangan lebih lanjut pada versi sistem berikutnya.

4. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm SNI.

Constraint ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem tambahan yang dipasang tidak mengurangi fungsi utama helm sebagai alat pelindung kepala. Seluruh komponen harus dirancang agar tidak merusak struktur helm, tidak mengganggu visibilitas pengendara, serta tetap memenuhi ketentuan keselamatan yang telah ditetapkan dalam standar nasional Indonesia (SNI). Dengan demikian, aspek keselamatan tetap menjadi prioritas utama dalam perancangan sistem.

5. Sistem mampu menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm.

Constraint ini dirumuskan untuk menjawab permasalahan kesehatan akibat kondisi helm yang lembab atau basah. Lingkungan lembab di dalam helm berpotensi menjadi media pertumbuhan bakteri dan jamur yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada pengguna. Oleh karena itu, sistem pengeringan dan sterilisasi harus dirancang agar efektif dalam mengurangi atau menonaktifkan mikroorganisme tersebut, sehingga kebersihan dan kenyamanan helm dapat terjaga.

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisis masalah, maka dirumuskan kebutuhan sistem yang harus dipenuhi agar solusi yang dikembangkan mampu menjawab permasalahan secara efektif dan realistis. Berikut beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi berdasarkan analisis masalah, diantaranya yaitu:

1.1.3.1 Kebutuhan Sistem Terkait Blind Spot Serta Sistem Terkait Ergonomi dan Kelelahan

1. Sistem mampu mengenali kendaraan yang memasuki area blind spot sepeda motor dengan tingkat akurasi tinggi.

2. Proses pengolahan data sensor dilakukan dengan waktu tunda minimal agar peringatan diberikan secara tepat waktu.
3. Sistem menyediakan mekanisme peringatan yang mudah dirasakan pengendara, seperti indikator visual, bunyi alarm, atau getaran.
4. Konsumsi daya sistem harus efisien dan tidak membebani kelistrikan sepeda motor.
5. Perangkat dirancang tahan terhadap hujan, debu, getaran, dan perubahan suhu.
6. Sistem mampu mengidentifikasi posisi duduk yang berpotensi menyebabkan ketegangan otot.
7. Sistem memantau durasi duduk statis dan memberikan peringatan dini.
8. Sistem memberikan rekomendasi waktu istirahat yang optimal.
9. Sistem tidak mengganggu kenyamanan dan konsentrasi pengendara selama berkendara.

1.1.3.2 Kebutuhan Sistem Terkait Jarak Pandang Saat Hujan Serta Sistem Terkait Kesehatan Helm dalam Kondisi Lembab atau Basah

1. Sistem mampu mendeteksi kondisi hujan secara real-time.
2. Sistem menjaga kejernihan kaca helm secara otomatis agar jarak pandang tetap optimal.
3. Sistem memiliki desain ergonomis, bersifat waterproof, dan tidak mengganggu kenyamanan pengendara.
4. Sistem dapat memproses satu helm dalam satu unit dengan berbagai ukuran, jenis dan berat yang beragam
5. Sistem dapat mengetahui status kelembaban pada helm
6. Sistem dapat membuat helm bisa secara cepat digunakan kembali setelah kondisi lembab atau basah
7. Sistem mampu mencapai suhu pemanasan 45 °C dan melakukan proses sterilisasi bakteri atau jamur.

1.1.4 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan mengusulkan suatu solusi sistem yang dapat membantu pengendara sepeda motor dalam menghadapi berbagai kondisi yang berpotensi mengganggu keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan

selama berkendara. Pengendara sepeda motor sering dihadapkan pada keterbatasan dalam memantau lingkungan sekitar, kondisi peralatan berkendara yang tidak selalu ideal, serta faktor ergonomi yang sulit disadari secara langsung. Oleh karena itu, solusi yang dirancang diarahkan untuk memberikan dukungan tambahan kepada pengendara dalam mengenali kondisi berisiko dan membantu mereka mengambil keputusan berkendara yang lebih aman. Tujuan ini disusun agar sistem yang diusulkan dapat berfungsi sebagai alat bantu, bukan sebagai pengganti peran pengendara, sehingga tetap menjaga kendali penuh berada pada pengguna.

Dalam aspek keselamatan tujuan sistem ini adalah mengembangkan konsep sistem yang mampu meningkatkan keselamatan pengendara dengan membantu mendeteksi kondisi yang sulit diamati secara visual, seperti keberadaan kendaraan di area yang tidak terjangkau pandangan langsung. Dengan adanya sistem pendukung yang memberikan peringatan secara real-time, pengendara diharapkan dapat lebih waspada terhadap potensi bahaya di sekitarnya, terutama pada situasi lalu lintas padat atau ketika harus berpindah jalur. Tujuan ini juga mencakup perancangan mekanisme peringatan yang mudah dipahami dan langsung dirasakan oleh pengendara, sehingga informasi yang diberikan dapat direspons dengan cepat tanpa mengganggu konsentrasi berkendara.

Selain itu dari aspek keselamatan, sistem ini juga bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan kesehatan pengendara selama berkendara, khususnya dalam kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Solusi yang diusulkan diarahkan untuk membantu menjaga jarak pandang pengendara tetap optimal saat hujan atau cuaca buruk, sehingga risiko kecelakaan akibat visibilitas yang menurun dapat dikurangi. Di sisi lain, perhatian juga diberikan pada kondisi helm yang lembab atau basah, yang berpotensi menimbulkan masalah kesehatan. Dengan adanya sistem pendukung yang membantu menjaga helm tetap kering dan higienis, diharapkan pengendara dapat merasa lebih nyaman dan aman dalam menggunakan perlengkapan berkendara mereka.

Tujuan berikutnya adalah membantu pengendara dalam menjaga kondisi fisik dan ergonomi selama berkendara, terutama pada perjalanan dengan durasi yang lama. Posisi duduk statis dan kurangnya kesadaran terhadap kelelahan otot dapat menurunkan kenyamanan sekaligus meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena

itu, sistem yang dirancang diharapkan mampu memantau kondisi tersebut dan memberikan peringatan atau rekomendasi waktu istirahat yang sesuai. Dengan pendekatan ini, pengendara diharapkan dapat menjaga kondisi tubuh tetap optimal selama berkendara.

Secara keseluruhan, tujuan sistem ini adalah merancang solusi sistem yang bersifat terintegrasi, praktis, dan realistis untuk diterapkan pada sepeda motor. Sistem yang diusulkan diharapkan memiliki konsumsi daya yang efisien, desain yang ringkas, serta ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan jalan. Dengan mempertimbangkan keterbatasan teknis, ekonomi, dan kenyamanan pengguna, solusi ini diharapkan dapat menjadi pendekatan yang aplikatif dalam membantu pengendara sepeda motor mengurangi risiko dan meningkatkan kualitas pengalaman berkendara sehari-hari.

1.2 Solusi

Dari penjabaran yang dijelaskan pada bagian pengenalan masalah, solusi yang diberikan pada sistem akan menyelesaikan permasalahan keamanan dalam berkendara motor pada aspek keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan. Dimana fokusnya permasalahan akan menyelesaikan beberapa permasalahan yaitu bahaya blind spot pada motor, ergonomi dan kelelahan pengendara, keterbatasan jarak pandang saat berkendara dalam kondisi hujan, dan kondisi helm lembab ataupun basah yang mengakibatkan tumbuhnya bakteri atau jamur

1.2.1 Karakteristik Produk

Berdasarkan permasalahan pada sistem keamanan berkendara motor, maka untuk menentukan solusi pada aspek keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan diperlukan pertimbangan dalam menentukan fitur dasar dan fitur tambahan yang harus dipenuhi oleh sistem yang akan dirancang.

1. Fitur Dasar

a. Kemampuan Deteksi (*Sensing Capability*)

Sistem harus dilengkapi dengan sensor yang mampu mendeteksi kendaraan atau objek lain pada area blind spot. Sensor yang digunakan dapat berupa sensor untuk mengukur jarak, sensor inframerah untuk deteksi berbasis pantulan cahaya atau panas, serta kamera digital untuk deteksi visual melalui

pemrosesan citra. Jangkauan deteksi ditetapkan pada rentang 0,5 m hingga 4 m agar sesuai dengan kondisi nyata saat berpindah jalur atau berbelok. Setelah itu sistem dilengkapi dengan sensor yang mampu mendeteksi kondisi duduk pengendara pada jok sepeda motor, misalnya melalui sensor tekanan atau fleksibel. Selain itu, sistem memantau durasi waktu berkendara untuk mengidentifikasi potensi kelelahan akibat posisi duduk yang tidak ergonomis dalam jangka waktu lama. Selanjutnya sistem memiliki kemampuan untuk mendeteksi kondisi lingkungan sekitar helm secara real-time menggunakan sensor lingkungan, seperti sensor hujan atau kelembapan. Fitur ini berfungsi untuk mengidentifikasi perubahan cuaca yang dapat mengurangi visibilitas, khususnya saat hujan, sehingga sistem dapat memicu respon otomatis guna menjaga pandangan pengendara tetap jelas dan aman. Selain itu sistem mampu mengidentifikasi kondisi helm secara otomatis dengan membedakan keadaan kering, lembab, atau basah. Sensor kelembapan digunakan untuk mengukur tingkat kadar air pada bagian dalam helm, kemudian sistem mengklasifikasikan kondisi tersebut ke dalam kategori kering, lembab, atau basah sebagai dasar proses pengeringan dan sterilisasi.

b. Performa Komputasi (*Computing Performance*)

Sistem Permasalahan bahaya blind spot yang sering terabaikan oleh pengendara sepeda motor memerlukan sistem dengan kemampuan pemrosesan data real-time menggunakan mikrokontroler atau prosesor tertanam. Sistem ini mampu mengolah data sensor dengan latensi maksimal kurang dari 200 ms, sehingga dapat memberikan respons cepat terhadap keberadaan objek di area blind spot. Implementasi algoritma pengolahan sinyal yang ringan dan efisien daya memungkinkan sistem menjalankan filter data sensor untuk mengurangi noise serta false positive, sekaligus mendukung pembelajaran mesin sederhana untuk identifikasi kendaraan secara akurat dengan konsumsi daya yang optimal.

Sementara itu, permasalahan kelelahan otot pengendara yang dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan risiko kecelakaan diatasi melalui sistem monitoring yang mengintegrasikan pemrosesan data dari pressure sensor dan timer duration secara bersamaan. Kemampuan komputasi ini

memungkinkan analisis pola genggaman dan tekanan yang diberikan pengendara pada stang motor, yang kemudian dikorelasikan dengan durasi waktu berkendara untuk menentukan tingkat kelelahan. Algoritma pengambilan keputusan yang diterapkan mampu menentukan waktu peringatan yang tepat berdasarkan threshold kelelahan yang telah ditetapkan, sehingga sistem dapat memberikan notifikasi kepada pengendara sebelum kondisi kelelahan mencapai tingkat berbahaya.

Selanjutnya, permasalahan kesulitan melihat jalan dengan jelas saat hujan deras karena tetesan air dan kabut yang menempel pada visor helm diatasi dengan sistem yang memiliki kemampuan pemrosesan data sensor untuk mendeteksi intensitas hujan dan tingkat visibilitas secara real-time. Pengolahan data yang cepat dan akurat memungkinkan sistem menganalisis tingkat kelembapan atau kabut pada visor, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan tindakan yang sesuai seperti aktivasi pemanas atau defogger visor. Dengan algoritma adaptif, sistem dapat menyesuaikan intensitas operasionalnya berdasarkan kondisi aktual lingkungan, sehingga setiap perubahan kondisi dapat direspons secara tepat waktu untuk memastikan visibilitas optimal bagi pengendara.

Lalu, permasalahan helm dalam kondisi lembab atau basah yang dapat menjadi media tumbuh bakteri dan jamur seperti dermatofita yang berisiko menyebabkan penyakit tinea capitis pada kulit kepala pengendara diatasi melalui sistem sterilisasi dan pengeringan helm dengan kemampuan pemrosesan data real-time. Sistem ini mampu mengolah nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor secara kontinu, dimana metode komputasi yang diterapkan berfungsi sebagai logika pengendali utama untuk mengatur intensitas sistem pengeringan dan sterilisasi berdasarkan nilai masukan sensor. Fitur pemrosesan data ini menjadi inti dari kecerdasan sistem yang memastikan koordinasi optimal antara berbagai komponen seperti pemanas, UV sterilizer, dan kipas, sehingga proses pengeringan dan sterilisasi dapat berjalan efektif dalam mencegah pertumbuhan mikroorganisme patogen pada bagian dalam helm.

c. Metode Komputasi (*Computing Method*)

Sistem membutuhkan metode komputasi yang berperan penting dalam untuk memilih, menyaring, atau memproses data, sehingga sistem mampu menghasilkan data yang akurat di tengah ketidakpastian (noise). Dengan komputasi yang baik, sistem dapat menghasilkan deteksi yang akurat, efisien, dan konsisten meskipun kondisi lingkungan berkendara berubah-ubah, sekaligus memiliki kemampuan pemrosesan data untuk menganalisis kondisi pengendara dan menentukan waktu pemberian peringatan yang paling tepat. Selain itu, sistem juga dirancang untuk memproses data yang diterima dari sensor secara cepat dan akurat, termasuk data yang menggambarkan intensitas hujan atau tingkat visibilitas, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan tindakan yang sesuai agar setiap perubahan kondisi lingkungan dapat direspons secara tepat waktu. Pemrosesan data ini juga mampu mengolah nilai kelembapan yang diperoleh sensor secara real-time, di mana pada tahap ini diterapkan metode komputasi sebagai logika pengendali utama untuk mengatur intensitas kerja sistem berdasarkan nilai masukan sensor, sehingga fitur pemrosesan data menjadi inti kecerdasan sistem yang memastikan seluruh komponen alat bekerja secara terkoordinasi dan optimal dalam proses pengeringan serta sterilisasi helm.

d. Kemampuan Notifikasi/Output (Notification Capability)

Saat sistem mendeteksi adanya kendaraan atau objek lain pada area blind spot, sistem akan memberikan peringatan langsung kepada pengendara melalui indikator LED, buzzer, dan getaran. Notifikasi harus muncul kurang dari 500 ms setelah objek terdeteksi agar pengendara dapat segera merespon dan menghindari potensi tabrakan. Setelah itu sensor dapat mendeteksi posisi duduk yang tidak ergonomis dalam jangka waktu tertentu, sistem akan mengeluarkan notifikasi berupa getaran atau bunyi peringatan untuk mengingatkan pengendara agar memperbaiki posisi duduk atau beristirahat sejenak. Selanjutnya jika sistem mendeteksi hujan atau penurunan visibilitas, sistem akan memberikan notifikasi visual atau audio kepada pengendara. Selain itu, sistem dapat menampilkan informasi bahwa mekanisme otomatis seperti wiper visor sedang diaktifkan, sehingga pengguna mengetahui bahwa perangkat sedang bekerja menjaga kejernihan pandangan. Setelah itu sistem

akan menampilkan indikator kelembapan helm dan mengklasifikasikan kondisi helm menjadi kering, lembab, atau basah. Selama proses pengeringan atau sterilisasi berlangsung, pengguna akan menerima informasi status secara real-time, serta notifikasi khusus ketika proses telah selesai dan helm dinyatakan aman untuk digunakan kembali.

2. Fitur Tambahan

a. Hemat Daya (*Low Consumption*)

Permasalahan bahaya blind spot yang sering terabaikan oleh pengendara sepeda motor memerlukan sistem yang dapat beroperasi dalam waktu lama dengan penggunaan daya yang efisien, terutama karena sumber energi berasal dari baterai atau powerbank, bukan dari aki motor. Desain rangkaian dan pengendalian daya harus dioptimalkan agar konsumsi energi tetap rendah tanpa mengurangi kecepatan deteksi maupun akurasi sistem. Penggunaan komponen berdaya rendah menjadi pertimbangan utama agar alat tetap praktis, ringan, dan dapat diisi ulang dengan mudah oleh pengguna, sehingga tidak menambah beban pada sistem kelistrikan motor dan tetap dapat diandalkan untuk jangka waktu penggunaan yang panjang.

Sementara itu, permasalahan kelelahan otot pengendara yang dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan risiko kecelakaan diatasi melalui sistem monitoring yang dirancang dengan konsumsi daya rendah agar tidak membebani sistem kelistrikan sepeda motor. Efisiensi energi pada sistem ini menjadi prioritas utama mengingat perangkat harus beroperasi secara kontinu selama perjalanan untuk memantau kondisi pengendara, sehingga pemilihan komponen elektronik dan sensor pressure yang hemat daya menjadi kunci agar sistem dapat berfungsi optimal tanpa menguras baterai motor atau mengganggu performa sistem kelistrikan kendaraan secara keseluruhan.

Selanjutnya, permasalahan kesulitan melihat jalan dengan jelas saat hujan deras karena tetesan air dan kabut yang menempel pada visor helm diatasi dengan sistem yang dirancang agar mampu beroperasi dengan konsumsi daya serendah mungkin, baik untuk sensor, mikrokontroler, maupun aktuator penggerak wiper, tanpa mengurangi performa dan kecepatan respons alat. Optimalisasi konsumsi daya pada setiap komponen sistem memastikan bahwa

mekanisme pembersihan visor dapat bekerja secara efektif dan responsif terhadap kondisi hujan, sementara tetap menjaga efisiensi energi agar tidak membebani pengguna dengan kebutuhan pengisian daya yang terlalu sering atau penggunaan baterai berkapasitas besar yang akan menambah bobot helm.

Lalu, permasalahan helm dalam kondisi lembab atau basah yang dapat menjadi media tumbuh bakteri dan jamur seperti dermatofita yang berisiko menyebabkan penyakit tinea capitis pada kulit kepala pengendara diatasi melalui sistem sterilisasi dan pengeringan helm dengan konsumsi daya yang digunakan sekitar 150 Watt. Meskipun konsumsi daya sistem ini relatif lebih tinggi dibandingkan sistem lainnya karena melibatkan elemen pemanas, lampu UV sterilizer, dan kipas pengeringan yang bekerja secara simultan, namun penggunaan daya tersebut tetap dioptimalkan melalui kontrol berbasis sensor kelembapan yang memastikan sistem hanya beroperasi pada intensitas dan durasi yang diperlukan, sehingga proses pengeringan dan sterilisasi dapat berjalan efektif sambil tetap menjaga efisiensi energi untuk penggunaan jangka panjang.

b. Hemat Biaya (*Low Cost*)

Total biaya perancangan dan pembuatan perangkat pada permasalahan blind spot diperkirakan tidak melebihi Rp2.000.000 agar dapat diadopsi secara luas oleh masyarakat. Dengan penetapan batas biaya ini, sistem deteksi blind spot dirancang untuk tetap terjangkau tanpa mengorbankan kualitas dan keandalan fungsi keselamatan yang ditawarkan.

Sementara itu, Sistem permasalahan kelelahan otot menggunakan komponen yang mudah didapat di pasaran lokal dengan target harga produksi yang kompetitif. Pemilihan komponen lokal tidak hanya menekan biaya produksi, tetapi juga memudahkan proses perawatan dan penggantian suku cadang, sehingga sistem dapat diakses oleh berbagai kalangan pengguna sepeda motor.

Selanjutnya, Sistem keterbatasan jarak pandang saat hujan dirancang agar dapat diselesaikan dengan biaya produksi yang rendah, sehingga dapat terjangkau oleh masyarakat umum dan mudah diterapkan oleh pengendara sepeda motor dari berbagai kalangan. Pendekatan efisiensi biaya ini

memastikan teknologi keselamatan berkendara saat hujan dapat digunakan secara massal tanpa menjadi beban finansial bagi pengguna.

Lalu, Sistem dapat diselesaikan dengan biaya sekitar $\pm$ Rp2.000.000 pada permasalahan kesehatan akibat kondisi helm lembab atau basah. Meskipun biaya sedikit lebih tinggi dibandingkan sistem lainnya, investasi ini sebanding dengan manfaat jangka panjang berupa perlindungan kesehatan kulit kepala dari risiko infeksi bakteri dan jamur, serta peningkatan higienitas helm secara menyeluruh.

c. Ketahanan Perangkat (*Device Robustness*)

Sistem pendeteksi blind spot harus tetap bekerja akurat meskipun sepeda motor melewati jalan bergelombang, berlubang, atau bergetar. Oleh karena itu, sensor dan modul dipasang pada casing yang mampu meredam getaran serta memiliki perlindungan terhadap debu dan percikan air hujan agar kinerja deteksi tetap stabil. Setelah itu terdapat sensor pemantau postur tubuh harus mampu beroperasi dalam kondisi panas mesin, suhu lingkungan luar yang berubah-ubah, serta paparan udara lembab selama perjalanan jauh. Komponen elektronik harus memiliki toleransi suhu yang baik dan tidak mudah mengalami degradasi akibat kondisi tersebut. Selanjutnya sistem wiper visor atau mekanisme pengusir air wajib dirancang tahan terhadap hujan deras dan kelembapan tinggi. Housing harus kedap air sehingga tidak terjadi korsleting, dan tetap berfungsi optimal meskipun terkena percikan air secara terus-menerus. Setelah itu sistem untuk permasalahan kesehatan akibat helm lembab atau basah harus tahan terhadap suhu lebih dari 45 °C serta paparan uap air dalam jangka waktu tertentu. Casing dan material internal tidak boleh mudah meleleh atau rusak akibat panas, sehingga sistem tetap aman dan andal selama proses pengeringan berlangsung.

d. Waktu Pengerjaan 6 Bulan

Sistem diharapkan dapat selesai dalam kurun waktu 6 bulan sejak tahap perancangan hingga pengujian awal.

1.2.2 Usulan Solusi

Usulan solusi yang diberikan terbagi menjadi dua sistem terkait permasalahan yang telah dijelaskan pada pengenalan masalah. Tentunya hal ini mencakup pada bidang keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan yang menjadi faktor permasalahan yang diambil pada sistem ini. Terkait penjelasan integrasi antar kedua sistem akan dijelaskan di bawah ini:

1.2.2.1 Sistem Terkait Masalah Blind Spot dan Ergonomi Serta Kelelahan Pengendara

Sistem monitoring blind spot dan kelelahan otot ini digabungkan karena keduanya menangani aspek keselamatan pengendara sepeda motor yang saling berkaitan, yaitu faktor internal berupa kondisi fisik pengendara dan faktor eksternal berupa ancaman dari lingkungan sekitar kendaraan. Oleh karena itu, untuk penyelesaian permasalahan sistem terkait bahaya blind spot dan kelelahan otot pengendara, maka kedua sistem ini akan digabungkan menjadi satu sistem terintegrasi yang menggunakan dashboard aplikasi ponsel untuk monitoring dan kontrol secara terpadu. Selanjutnya untuk setiap permasalahan akan diberikan solusi tersendiri untuk masing-masing sistem. Hal ini tentunya dikarenakan perbedaan karakteristik dan mekanisme penyelesaian kedua permasalahan ini meskipun keduanya beroperasi dalam satu sistem yang terintegrasi. Dimana sistem deteksi blind spot bekerja secara real-time dan kontinu untuk memantau lingkungan sekitar kendaraan selama berkendara, sementara itu sistem monitoring kelelahan otot bekerja dengan mengakumulasi data tekanan dan durasi berkendara untuk memberikan peringatan bertahap kepada pengendara agar melakukan istirahat sebelum kelelahan mencapai tingkat berbahaya.

1. “Sistem Monitoring Blindspot dan Kelelahan Otot Menggunakan modul Radar, *Pressure Sensor* dan *Timer Duration* dengan Sistem Algoritma Filtering”

Pengendara sepeda motor, khususnya pengemudi ojek online, sering menghadapi kondisi kerja dengan durasi berkendara yang panjang dan tingkat konsentrasi tinggi. Penghasilan yang bergantung pada jumlah order mendorong pengendara untuk terus berkendara tanpa menyadari akumulasi kelelahan fisik maupun meningkatnya risiko dari lingkungan sekitar kendaraan. Dua permasalahan

utama yang muncul dari kondisi ini adalah keterbatasan penglihatan pada area blind spot serta kelelahan otot akibat posisi duduk statis dalam waktu yang lama. Kedua faktor tersebut berkontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko kecelakaan lalu lintas.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diusulkan suatu Sistem Monitoring Blind Spot dan Kelelahan Otot yang mengintegrasikan sensor radar, pressure sensor, dan timer duration dalam satu sistem pemantauan keselamatan berkendara. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis, *real-time*, dan tidak memerlukan interaksi manual dari pengendara, sehingga tetap efektif digunakan dalam kondisi berkendara sehari-hari.

Sistem monitoring kelelahan otot bekerja dengan memasang beberapa sensor tekanan (*Force Sensitive Resistor/FSR*) pada jok sepeda motor sebagai sensor kehadiran pengendara. Sensor ini berfungsi sebagai *binary presence detector* untuk mengonfirmasi apakah pengendara sedang duduk di atas motor [31]. Ketika tekanan yang terdeteksi melebihi nilai ambang batas tertentu, sistem menginterpretasikan bahwa pengendara sedang berada di motor dan secara otomatis memulai timer durasi berkendara. Selama sensor terus mendeteksi tekanan, timer akan terus menghitung durasi berkendara dalam satuan waktu tertentu.

Mikrokontroler menjalankan algoritma sederhana berbasis counter yang menghitung waktu secara kontinu selama pengendara terdeteksi berada di motor. Data durasi ini disimpan dan dikirimkan secara berkala ke aplikasi ponsel melalui koneksi nirkabel untuk ditampilkan kepada pengguna. Ketika pengendara turun dari motor dan tekanan pada sensor turun di bawah ambang batas, sistem secara otomatis menghentikan timer. Apabila pengendara kembali duduk setelah beristirahat, sistem akan mendeteksi kehadiran kembali dan me-reset timer durasi dari nol.

Sistem peringatan kelelahan otot dirancang menggunakan pendekatan bertingkat berbasis waktu (*time-based monitoring*). Pada interval awal yang ditentukan berdasarkan standar ergonomi, sistem memberikan notifikasi ringan berupa getaran dengan pesan sederhana untuk mengingatkan pengendara agar mempertimbangkan istirahat. Jika pengendara mengabaikan peringatan tersebut dan tetap berkendara hingga melewati interval berikutnya, sistem akan memberikan

peringatan yang lebih kuat berupa alarm suara untuk mendorong tindakan segera. Pada interval maksimal, sistem dapat memberikan alarm mendesak apabila pengendara terus mengabaikan peringatan sebelumnya. Pendekatan ini efektif karena memberikan early warning sebelum kelelahan mencapai tingkat berbahaya, sekaligus memberikan fleksibilitas bagi pengendara untuk menyesuaikan waktu istirahat dengan kondisi perjalanan mereka.

Pendekatan berbasis waktu ini bersifat universal dan tidak memerlukan kalibrasi individual. Interval peringatan ditentukan berdasarkan standar ergonomi yang menyatakan bahwa posisi duduk statis dalam periode waktu tertentu tanpa perubahan signifikan dapat menyebabkan kelelahan otot dan penurunan performa kontrol kendaraan [32]. Kesederhanaan sistem juga membuatnya mudah dipahami dan digunakan oleh pengendara dengan berbagai latar belakang teknologi, karena pengendara hanya perlu merespons notifikasi yang muncul tanpa harus memahami data teknis yang kompleks.

Selain pemantauan kondisi pengendara, sistem ini juga dilengkapi dengan Sistem Deteksi Blind Spot menggunakan teknologi modul radar dengan algoritma filtering. teknologi modul radar bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik ke lingkungan sekitar dan menerima sinyal pantulan dari objek yang terdeteksi. Berdasarkan karakteristik sinyal pantulan tersebut, sistem dapat memperkirakan posisi, jarak, serta kecepatan relatif objek yang berada di sekitar pengendara. Untuk meningkatkan akurasi pembacaan jarak dan menyaring noise dari data mentah sensor, sistem ini menggunakan algoritma *Filtering*. *Filtering Algorithm* digunakan karena memungkinkan untuk menghasilkan estimasi posisi objek yang lebih stabil meskipun data sensor mengalami gangguan. Dengan memanfaatkan prediksi dari algoritma ini dapat meminimalkan kesalahan pembacaan dan menjaga konsistensi data. Proses ini terjadi secara *real-time*, sehingga sistem dapat memantau pergerakan objek secara stabil.

Data hasil pembacaan radar bersifat dinamis dan dapat mengalami fluktuasi dan banyak terjadi noise akibat pergerakan objek, interferensi lingkungan, maupun keterbatasan modul. Oleh karena itu, sistem tidak hanya mengandalkan nilai pengukuran sesaat, tetapi juga menerapkan algoritma filtering dengan mengombinasikan data pengukuran baru dari radar dengan hasil prediksi

sebelumnya menggunakan rata rata tertimbang (*weight average*). Algoritma filtering ini memungkinkan sistem menghasilkan estimasi posisi dan kecepatan objek yang lebih stabil meskipun data radar mengandung noise, serta mampu mengikuti perubahan kondisi lingkungan secara konsisten.

Dalam menilai potensi bahaya, sistem tidak menggunakan keputusan biner seperti “bahaya” atau “tidak berbahaya”. Sebaliknya, sistem menggunakan pendekatan sistem cerdas dalam menilai situasi lalu lintas dengan mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam beberapa kategori, seperti aman, waspada, dan bahaya. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan jarak dan kecepatan relatif objek terhadap pengendara. Nilai risiko yang dihasilkan bersifat kontinu dan diterjemahkan menjadi bentuk keluaran yang intuitif, seperti peringatan getaran atau bunyi dengan intensitas yang disesuaikan dengan tingkat risiko yang terdeteksi.

Skenario penerapan sistem ini melibatkan pemasangan modul radar pada sisi belakang kendaraan dengan sudut tertentu untuk mencakup area blind spot. Selama kendaraan melaju, sistem secara terus-menerus memantau area tersebut. Ketika objek memasuki zona pemantauan dan menunjukkan peningkatan tingkat risiko, sistem akan memberikan peringatan dalam waktu respons yang singkat. Ketika kondisi kembali aman, peringatan akan dinonaktifkan secara otomatis tanpa memerlukan intervensi pengendara.

Pendekatan berbasis radar ini efektif karena tidak bergantung pada pencitraan visual yang sensitif terhadap kondisi cahaya. Sensor radar mampu bekerja secara konsisten pada kondisi pencahayaan rendah maupun cuaca kurang mendukung. Dengan adanya proses estimasi berbasis prediksi, sistem dapat menjaga kestabilan informasi dan menurunkan kemungkinan kesalahan deteksi. Berbagai studi dalam bidang sistem transportasi cerdas menunjukkan bahwa radar telah banyak digunakan pada aplikasi keselamatan kendaraan, khususnya untuk pemantauan blind spot dan deteksi potensi tabrakan.

Dengan mengintegrasikan pemantauan kondisi pengendara dan pemantauan lingkungan sekitar kendaraan, sistem ini memberikan pendekatan keselamatan yang lebih komprehensif. Pengendara tidak hanya mendapatkan peringatan terhadap potensi bahaya eksternal dari area blind spot, tetapi juga memperoleh pengingat

yang konsisten terkait kondisi fisik dan durasi berkendara. Integrasi ini diharapkan mampu meningkatkan keselamatan, kenyamanan, serta kesadaran pengendara dalam berkendara jarak jauh maupun aktivitas harian.

2. Sistem Smart Seat dengan Deteksi Perubahan Tekanan Adaptif dan Sistem Deteksi Blind-Spot Menggunakan Sensor Inframerah Pasif dengan Sistem Kontrol Cerdas

Seorang kurir logistik yang setiap hari melakukan pengiriman barang dengan rute yang beragam, mulai dari jalan tol yang mulus hingga jalan perumahan yang berlubang, harus menempuh perjalanan dalam durasi yang panjang untuk mengantarkan sejumlah paket ke berbagai lokasi. Kondisi berkendara yang bervariasi ini tidak hanya menuntut kewaspadaan terhadap lingkungan sekitar kendaraan, tetapi juga berdampak pada kenyamanan dan kondisi fisik pengendara, khususnya akibat posisi duduk statis dan getaran jalan yang terus-menerus. Selain itu, keterbatasan pandangan pada area blind spot tetap menjadi risiko keselamatan yang signifikan, terutama pada kondisi minim cahaya atau lingkungan lalu lintas yang padat.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, diusulkan suatu sistem terpadu yang menggabungkan Smart Seat dengan Deteksi Perubahan Tekanan Adaptif dan Sistem Deteksi Blind-Spot Menggunakan Sensor Inframerah Pasif dengan Sistem Kontrol Cerdas. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi fisik pengendara serta lingkungan sekitar kendaraan secara simultan, adaptif, dan real-time, tanpa membebani pengendara dengan interaksi manual yang kompleks.

Sistem Smart Seat dengan deteksi tekanan adaptif bekerja menggunakan array sensor tekanan yang tersebar di jok sepeda motor. Sistem mulai beroperasi sejak pengendara duduk, dengan terlebih dahulu merekam baseline pressure profile sebagai representasi distribusi tekanan awal pengendara. Berbeda dengan sistem monitoring berbasis waktu sederhana, sistem ini tidak hanya menghitung durasi berkendara, tetapi juga terus menganalisis pola distribusi tekanan selama perjalanan. Pada kondisi awal, seperti saat melaju di jalan tol yang relatif mulus, distribusi tekanan cenderung stabil dengan fluktuasi kecil akibat getaran normal kendaraan. Kondisi ini dikenali sebagai keadaan normal, sehingga sistem tidak memberikan peringatan.

Ketika pengendara memasuki jalan dengan kondisi rusak, getaran meningkat secara signifikan dan menyebabkan fluktuasi tekanan sesaat. Sistem secara otomatis menyesuaikan noise threshold untuk membedakan antara gangguan akibat kondisi jalan dan perubahan distribusi tekanan yang bersifat genuine. Seiring berjalannya waktu, pengendara dapat mulai merasakan ketidaknyamanan pada area tertentu akibat tekanan statis yang berkepanjangan. Secara alami, pengendara akan menggeser posisi duduk untuk mengurangi tekanan. Perubahan posisi ini tercermin dalam pergeseran distribusi tekanan antara area kanan dan kiri jok, yang kemudian terdeteksi oleh sensor. Ketika perubahan signifikan ini teridentifikasi, sistem memberikan notifikasi kepada pengendara bahwa telah terjadi perubahan posisi yang mengindikasikan potensi ketidaknyamanan, serta menyarankan untuk mempertimbangkan istirahat sejenak.

Apabila pengendara berhenti dan turun dari motor untuk beristirahat, sistem mendeteksi hilangnya tekanan dan menghentikan proses monitoring. Ketika pengendara kembali duduk, sistem akan me-reset baseline pressure profile dan memulai proses pemantauan kembali dengan pola tekanan yang baru. Pendekatan adaptif ini mengatasi keterbatasan sistem berbasis waktu yang hanya bergantung pada durasi berkendara, karena dalam praktiknya ketegangan otot tidak selalu muncul pada waktu yang sama untuk setiap individu atau kondisi. Faktor seperti kondisi jalan, beban bawaan, gaya berkendara, serta kondisi fisik pengendara sangat mempengaruhi kecepatan munculnya ketidaknyamanan.

Sistem adaptive pressure monitoring mendeteksi tanda peringatan dini dari ketidaknyamanan melalui perubahan perilaku duduk pengendara. Penelitian di bidang pressure mapping dan postural discomfort assessment menunjukkan bahwa perubahan distribusi tekanan pada jok merupakan indikator objektif dari ketidaknyamanan dan kelelahan otot. Dari perspektif biomekanik, posisi duduk statis dapat menyebabkan ischemia atau berkurangnya aliran darah pada jaringan yang tertekan. Ketika kondisi ini mencapai ambang tertentu, tubuh akan memberikan sinyal ketidaknyamanan yang memicu perubahan posisi sebagai mekanisme proteksi alami. Dengan mendeteksi perubahan ini lebih awal, sistem mampu memberikan peringatan sebelum ketegangan berkembang menjadi kelelahan otot yang lebih serius.

Kemampuan sistem untuk membedakan noise dari perubahan genuine sangat krusial. Jalan berlubang, polisi tidur, atau manuver mendadak dapat menyebabkan fluktuasi tekanan sesaat. Oleh karena itu, sistem menggunakan time-window analysis dan noise filtering algorithm untuk memastikan bahwa peringatan hanya diberikan pada perubahan yang benar-benar mengindikasikan ketidaknyamanan, bukan sekadar akibat kondisi jalan. Pendekatan ini memberikan pengalaman penggunaan yang lebih personal karena sistem mempelajari pola duduk normal setiap pengendara dan hanya memberikan peringatan ketika terjadi deviasi signifikan dari pola tersebut.

Selain memantau kondisi fisik pengendara, sistem ini juga dilengkapi dengan Sistem Deteksi Blind-Spot Menggunakan Sensor Inframerah Pasif. Sistem ini didasarkan pada prinsip bahwa setiap objek dengan suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi termal. Sensor inframerah mendeteksi perubahan intensitas panas dari kendaraan atau objek lain di sekitar pengendara. Dengan menggunakan metode komputasi tertentu, sistem mampu membedakan radiasi termal dari objek bergerak dengan latar belakang lingkungan, sehingga tidak bergantung pada pencahayaan visual dan tetap efektif digunakan pada malam hari atau kondisi cahaya rendah.

Dalam skenario penggunaan, sensor inframerah dipasang pada sisi kiri dan kanan sepeda motor dengan sudut pandang sekitar 30° – 60° untuk mencakup area blind spot. Ketika kendaraan lain memasuki zona pemantauan, terjadi peningkatan perubahan temperatur relatif (ΔT) yang terdeteksi oleh sensor. Data ini diproses secara real-time oleh mikrokontroler low-power yang menjalankan algoritma ringan dengan latensi rendah. Ketika nilai ΔT melewati ambang batas tertentu, sistem memberikan peringatan melalui indikator LED, alarm suara, atau getaran dengan waktu respons kurang dari 500 ms untuk menjaga keselamatan pengendara.

Sistem kontrol cerdas pada deteksi blind spot tidak menggunakan keputusan biner seperti “aman” atau “berbahaya”. Sebaliknya, sistem meniru pola penalaran manusia dengan mengelompokkan data sensor ke dalam tingkat kedekatan seperti dekat, sedang, dan jauh. Setiap nilai sensor dapat memiliki tingkat keterlibatan pada lebih dari satu kategori secara bersamaan, misalnya 60% dekat dan 40% sedang. Berdasarkan pengelompokan ini, sistem menerapkan seperangkat aturan untuk

menentukan tingkat risiko secara bertahap. Hasil akhirnya berupa nilai risiko kontinu yang menjadi dasar penentuan intensitas peringatan kepada pengendara melalui indikator visual dan haptic.

Pendekatan berbasis inframerah ini mampu menutup keterbatasan spion konvensional yang memiliki sudut pandang terbatas. Sistem tetap berfungsi optimal pada kondisi minim cahaya, memiliki konsumsi daya yang sangat rendah, serta dapat dioperasikan menggunakan baterai kecil tanpa membebani sistem kelistrikan sepeda motor. Desain perangkat dibuat ringkas, tahan cuaca dengan housing berstandar IP65, serta relatif murah sehingga mendukung implementasi low-cost dan pemasangan tanpa modifikasi besar.

Tantangan utama sistem inframerah adalah sensitivitas terhadap panas matahari langsung atau permukaan jalan yang memantulkan panas, yang berpotensi menimbulkan false positive. Untuk mengatasi hal ini, digunakan algoritma komputasi yang mampu menafsirkan data sensor secara adaptif, serta penempatan sensor yang dilengkapi shading guna menghindari paparan langsung sinar matahari. Dengan mitigasi ini, reliabilitas dan konsistensi sistem dapat ditingkatkan dalam berbagai kondisi lingkungan.

Berdasarkan analisis tersebut, integrasi Smart Seat dengan deteksi tekanan adaptif dan sistem deteksi blind spot berbasis inframerah pasif memberikan solusi keselamatan yang komprehensif. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kesadaran pengendara terhadap kondisi fisik dan kenyamanan selama berkendara, tetapi juga memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya di area blind spot. Pendekatan ini menjawab kebutuhan keselamatan, ergonomi, dan efisiensi energi, serta layak dipertimbangkan sebagai solusi praktis dan inovatif dalam pengembangan sistem keselamatan kendaraan roda dua.

3. Sistem Monitoring Terintegrasi dengan Kombinasi Pressure-Vibration Sensor dan Edge Vision untuk Deteksi Blind-Spot

Seorang anggota komunitas touring motor yang rutin melakukan perjalanan jarak jauh setiap akhir pekan merencanakan tur dengan jarak tempuh ratusan kilometer dan estimasi waktu beberapa jam. Dalam perjalanan tersebut, pengendara tidak hanya menghadapi risiko kelelahan otot yang dipercepat oleh kondisi medan

berat, tetapi juga ancaman kecelakaan dari kendaraan lain yang berada di area *blind spot* saat melakukan manuver di berbagai kondisi jalan dan pencahayaan.

Sistem monitoring terintegrasi yang terpasang pada motor menggabungkan beberapa teknologi canggih untuk memberikan perlindungan komprehensif. Sistem menggunakan beberapa sensor tekanan di jok untuk konfirmasi kehadiran dan tracking durasi, sensor accelerometer yang dipasang pada rangka motor di bawah jok untuk mendeteksi intensitas getaran kendaraan, serta kamera wide-angle yang ditempatkan di samping atau belakang motor dengan sudut pandang lebar untuk pemantauan visual area blind spot. Saat pengendara duduk dan menyalakan kendaraan, sistem melakukan kalibrasi awal dengan merekam tekanan baseline dan level getaran referensi selama motor dalam keadaan diam, sekaligus mengaktifkan sistem kamera yang mulai mengalirkan data citra ke prosesor untuk dianalisis secara real-time.

Pada segmen awal di jalan tol yang mulus, sistem mendeteksi getaran rendah melalui accelerometer. Sistem menghitung durasi berkendara sebagai "kondisi nyaman" dengan faktor getaran rendah, sehingga estimasi waktu hingga peringatan pertama menggunakan interval standar. Di saat yang bersamaan, kamera terus memantau area di sekitar kendaraan. Setiap gambar yang masuk kemudian diubah menjadi susunan piksel dengan nilai intensitas tertentu. Algoritma akan memproses susunan piksel ini melalui lapisan pertama yang disebut lapisan konvolusi. Pada tahap ini, sistem menerapkan sejumlah filter kecil yang bergerak melintasi seluruh gambar untuk mendeteksi pola sederhana seperti tepi, garis, atau sudut. Setiap filter berfungsi seperti mata manusia yang fokus pada aspek tertentu dari gambar.

Memasuki jalur berkelok dengan permukaan jalan tidak rata, intensitas getaran meningkat signifikan. Accelerometer mendeteksi peningkatan getaran yang substansial dari baseline. Sistem secara otomatis mengkalkulasi ulang bahwa dengan tingkat getaran tinggi, tubuh akan lebih cepat lelah, sehingga estimasi waktu peringatan dikurangi untuk segment ini. Getaran kendaraan memiliki dampak signifikan terhadap kelelahan pengendara. Getaran yang ditransmisikan dari permukaan jalan melalui ban, suspensi, dan rangka motor ke tubuh pengendara menyebabkan aktivasi otot kompensatori yang terus-menerus. Otot-otot core dan kaki harus bekerja lebih keras untuk menjaga stabilitas tubuh di atas motor yang

bergetar. Penelitian menunjukkan bahwa paparan getaran tinggi menghasilkan tingkat kelelahan yang lebih cepat dibanding berkendara tanpa getaran signifikan. Hal ini disebabkan oleh aktivasi berkelanjutan dari muscle spindle dan proprioceptor yang merespons perubahan akselerasi, menyebabkan kontraksi otot isometrik untuk mempertahankan stabilitas.

Saat kondisi jalan menantang ini, sistem kamera juga bekerja lebih keras untuk memastikan keselamatan. Hasil dari tahap awal ekstraksi ciri konvolusi kemudian diteruskan ke lapisan berikutnya, di mana pola yang lebih kompleks mulai dikenali. Sistem secara bertahap membangun pemahaman yang lebih tinggi terhadap objek di dalam gambar dari pola sederhana menjadi bentuk yang lebih spesifik, seperti siluet kendaraan, roda, atau lampu. Jika kendaraan terdeteksi memasuki zona blind spot, sistem segera memicu indikator visual atau haptic. Respon cepat ini memberi waktu pengendara untuk menunda manuver berisiko, terutama di jalur berkelok yang memerlukan konsentrasi tinggi.

Setelah beberapa tahap ekstraksi ciri, sistem kamera melakukan proses pengenalan atau klasifikasi. Pada tahap ini, seluruh informasi yang telah dipelajari dari lapisan sebelumnya digunakan untuk memutuskan apakah objek yang terdeteksi merupakan sepeda motor, mobil, atau jenis kendaraan lainnya. Kemampuan mengidentifikasi jenis objek ini memungkinkan pengendara membuat keputusan lebih tepat, misalnya membedakan motor yang cepat mendekat dengan mobil yang lambat. Untuk menjaga kecepatan dan efisiensi, hasil pengenalan ini diproses dalam pipeline komputasi yang teroptimasi. Mikrokontroler atau mini-komputer dengan unit pemroses neural (NPU) dapat digunakan untuk mempercepat perhitungan pada setiap lapisan jaringan. Dengan cara ini, sistem mampu mendeteksi dan mengenali objek di area blind-spot secara real-time, dengan waktu respons yang sangat cepat, biasanya di bawah 200 ms.

Setelah berkendara total dalam durasi tertentu yang mencakup kombinasi jalan mulus dan medan berat, sistem memberikan peringatan bahwa terdeteksi perjalanan di medan berat dan total akumulasi kelelahan setara dengan durasi lebih panjang pada berkendara normal, menyarankan untuk mempertimbangkan istirahat dalam waktu dekat. Konsep "equivalent riding time" memungkinkan sistem untuk menghitung bahwa berkendara di medan kasar dengan getaran tinggi dalam waktu

tertentu setara dengan berkendara lebih lama di jalan mulus dalam hal akumulasi kelelahan. Sensor accelerometer tri-axis dipasang pada rangka motor untuk mengukur percepatan getaran dengan sensitivitas dan sampling rate yang memadai. Data diproses menggunakan algoritma RMS (Root Mean Square) untuk menghitung magnitude getaran dalam window waktu tertentu. Mikrokontroler menjalankan algoritma fatigue accumulation yang mengkalkulasi equivalent riding time dengan mempertimbangkan intensitas getaran. Sistem mengkategorikan level getaran menjadi beberapa kategori (rendah, sedang, tinggi) dan memberikan faktor pengali yang berbeda untuk setiap kategori.

Saat pengendara berencana untuk berpindah jalur menuju area parkir untuk istirahat, sistem kamera menjadi sangat krusial. Kamera bekerja siang dan malam dengan tambahan modul inframerah untuk kondisi minim cahaya. Landasan teori computer vision memungkinkan klasifikasi objek, sehingga sistem tidak hanya mendeteksi tetapi juga mengenali jenis kendaraan. Hal ini penting untuk memahami ancaman, misalnya membedakan motor dan mobil. Meskipun kondisi pencahayaan mulai berkurang menjelang sore, sistem tetap dapat mendeteksi kendaraan lain yang berada di area blind spot dengan akurasi tinggi. Untuk mengatasi tantangan pencahayaan, sistem menggunakan preprocessing citra seperti modul iluminasi tambahan agar sistem dapat mengenali objek lebih awal dan lebih akurat. Algoritma juga bisa dilengkapi tracking untuk prediksi pergerakan objek. Dengan strategi ini, akurasi sistem tetap terjaga. Penelitian terkini melaporkan latensi inferensi algoritma ringan tetap di bawah 200 ms bahkan di perangkat low-power.

Di area parkir, pengendara dan kelompoknya istirahat beberapa menit. Saat sensor tekanan tidak mendeteksi kehadiran pengendara, timer dihentikan dan counter akumulasi getaran di-reset. Sistem kamera tetap aktif dalam mode standby untuk keamanan kendaraan. Ketika melanjutkan perjalanan, sistem mulai perhitungan baru dengan baseline yang fresh, baik untuk monitoring kelelahan maupun deteksi blind spot. Data getaran dan durasi dikirim ke aplikasi ponsel untuk visualisasi real-time, memungkinkan pengendara melihat akumulasi kelelahan dan merencanakan istirahat dengan lebih baik. Kamera juga dapat merekam data untuk analisis pasca kejadian.

Sistem terintegrasi ini mengatasi keterbatasan pendekatan konvensional yang memperlakukan semua kondisi berkendara secara sama. Pendekatan time-based sederhana yang hanya fokus pada durasi tidak mempertimbangkan bahwa berkendara dalam durasi tertentu di jalan tol yang mulus sangat berbeda tingkat kelelahannya dengan berkendara di jalan berlubang atau menanjak dalam durasi yang sama. Sementara itu, spion konvensional memiliki keterbatasan sudut pandang dan tidak dapat memberikan informasi tentang jenis kendaraan yang berada di area blind spot, terutama dalam kondisi pencahayaan buruk.

Dengan mengintegrasikan data intensitas getaran ke dalam perhitungan durasi, sistem dapat memberikan estimasi kelelahan yang lebih akurat. Pendekatan ini memberikan peringatan yang lebih kontekstual dan relevan dengan kondisi perjalanan aktual. Pengendara touring yang melewati berbagai jenis medan akan mendapat manfaat signifikan karena sistem mempertimbangkan tingkat kesulitan medan yang dihadapi. Sistem juga membantu pengendara dalam perencanaan istirahat. Dengan mengetahui bahwa medan berat di depan akan mempercepat kelelahan, pengendara dapat memutuskan untuk beristirahat lebih awal sebelum memasuki segment tersebut. Sistem memberikan threshold peringatan yang disesuaikan berdasarkan equivalent time yang dikalkulasi, memungkinkan pengendara mendapat peringatan yang lebih akurat sesuai kondisi medan yang dilalui.

Di sisi keselamatan eksternal, sistem deteksi blind-spot berbasis kamera menyelesaikan masalah dengan memberikan informasi visual langsung dari lingkungan sekitar. Sistem ini menggabungkan time-based monitoring dengan vibration exposure assessment. Penelitian menunjukkan bahwa whole-body vibration (WBV) yang dialami pengendara motor berkontribusi signifikan terhadap kelelahan dan ketidaknyamanan. Kemampuan sistem kamera untuk tidak hanya mendeteksi keberadaan objek tetapi juga mengidentifikasi jenisnya memberikan konteks yang lebih kaya untuk pengambilan keputusan. Melalui pendekatan ini, sistem tidak hanya mampu mengetahui keberadaan objek di area buta, tetapi juga memahami jenisnya. Kemampuan tersebut membuat peringatan yang diberikan kepada pengendara menjadi lebih kontekstual dan akurat, sehingga dapat meningkatkan kewaspadaan dan keselamatan selama berkendara.

Dari sisi implementasi teknis, fitur dasar sistem mencakup kemampuan kamera menangkap citra dengan resolusi cukup tinggi untuk deteksi objek dan kemampuan sensor accelerometer untuk mengukur getaran dengan presisi tinggi. Computing performance dijawab dengan dukungan algoritma ringan berbasis saraf tiruan yang dirancang khusus untuk mengenali pola pada citra visual, serta algoritma RMS untuk pemrosesan data getaran. Algoritma berbasis saraf tiruan terdiri atas beberapa lapisan komputasi yang secara bertahap mengekstraksi ciri-ciri penting dari gambar yang ditangkap oleh kamera. Metode komputasi mengatur cara sistem mengolah dan menafsirkan data sensor agar mampu membedakan objek di area blind spot dengan akurat dan menghitung akumulasi kelelahan berdasarkan intensitas getaran.

Mekanisme peringatan dipenuhi dengan indikator visual dan getaran (haptic) yang terkoordinasi dari kedua subsistem. Konsumsi daya dioptimalkan dengan NPU hemat energi untuk pemrosesan kamera dan mikrokontroler low-power untuk pemrosesan data getaran dan tekanan. Desain perangkat disesuaikan agar tahan terhadap cuaca dengan housing IP65, menjaga keandalan sistem di kondisi nyata. Biaya perangkat kamera lebih tinggi dibanding sensor radar atau IR, namun masih dapat ditekan dengan modul kamera komersial. Sensor tekanan dan accelerometer relatif murah, sehingga kombinasi keseluruhan sistem tetap dalam aspek yang dapat dijangkau.

Integrasi kedua teknologi ini memberikan nilai tambah yang signifikan. Ketika sistem monitoring getaran dan tekanan mendeteksi pengendara memerlukan istirahat karena akumulasi kelelahan, sistem dapat memberikan rekomendasi lokasi istirahat terdekat sambil tetap mempertahankan fungsi blind-spot detection untuk memastikan keselamatan selama perjalanan menuju lokasi istirahat. Data dari kedua sistem dapat diintegrasikan dalam satu dashboard aplikasi ponsel, memberikan pengendara pandangan komprehensif tentang kondisi perjalanan mereka baik dari aspek internal (kelelahan) maupun eksternal (bahaya blind spot).

Berdasarkan analisa dari kedua aspek teknologi, sistem ini didasarkan pada penelitian ergonomi tentang whole-body vibration, prinsip fatigue accumulation, dan teori computer vision untuk deteksi objek real-time. Sistem visi real-time pada sepeda motor dapat menurunkan potensi kecelakaan signifikan. Dengan dukungan studi ini, Sistem Monitoring Terintegrasi menjadi solusi yang komprehensif dan

berguna. Implementasi sistem mengintegrasikan sensor tekanan, accelerometer, kamera, dan algoritma komputasi yang bekerja secara sinergis. Hal ini menjawab kebutuhan fitur dasar dan tambahan secara komprehensif. Sistem ini menjadi representasi penerapan teknologi modern dalam meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengendara sepeda motor, khususnya untuk komunitas touring yang sering menghadapi berbagai kondisi medan dan memerlukan perlindungan maksimal dalam perjalanan jarak jauh. Berikut di bawah ini beberapa solusi yang ditawarkan untuk menyelesaikan permasalahan pada kedua sistem yang diintegrasikan ini:

1.2.2.2 Sistem Terkait Masalah Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan dan Kesehatan Helm dalam Kondisi Lembab atau Basah

Sistem ini digabungkan karena objek yang sama pada helm. Oleh karena itu untuk penyelesaian permasalahan sistem terkait keterbatasan jarak pandang saat hujan dan kesehatan helm akibat kondisi lembab atau basah, maka sistem ini akan digabungkan menjadi satu sistem yang terikat menggunakan *dashboard* yang akan diintegrasikan untuk penyelesaian kedua sistem ini. Selanjutnya untuk setiap permasalahan akan diberikan solusi tersendiri untuk masing-masing sistem. Hal ini tentunya dikarenakan perbedaan kondisi waktu untuk menyelesaikan kedua permasalahan ini untuk menjadikan satu sistem yang terintegrasi. Dimana kondisi masalah keterbatasan jarak pandang dilakukan saat berkendara, sementara itu kesehatan helm dalam kondisi lembab atau basah dilakukan sesudah berkendara dan saat akan mengendarai sepeda motor kembali.

1. Sistem Pembersih Visor Helm Otomatis Menggunakan Mini Air Pump Serta Penggunaan Lampu Pijar dan Infrared Untuk Sistem Pengering dan Sterilisasi Helm Berbasis Metode Rule Base Control

Untuk penyelesaian masalah pada bagian keterbatasan jarak pandang saat hujan solusi yang dikembangkan yaitu pembuatan visor helm otomatis menggunakan Mini Air Pump. Tentunya hal ini untuk mengatasi permasalahan berkurangnya visibilitas pengendara sepeda motor akibat tetesan air hujan yang menempel pada visor helm. Ketika hujan turun, tetesan air dapat menempel pada permukaan visor dan menghalangi pandangan pengendara, terutama saat berkendara pada malam

hari atau di bawah pencahayaan rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem ini memanfaatkan mini air pump sebagai penghasil aliran udara bertekanan yang diarahkan ke permukaan visor untuk menghilangkan tetesan air secara cepat dan efisien.

Sistem ini bekerja secara otomatis dengan bantuan sensor hujan sebagai pendeteksi kondisi cuaca. Data dari sensor hujan diolah oleh mikrokontroler menggunakan pendekatan rule-based control, yaitu metode pengendalian berbasis aturan yang ditetapkan berdasarkan logika sederhana “jika-maka (IF-THEN)”. Dengan metode ini, sistem mampu memberikan respon sesuai dengan tingkat intensitas hujan yang terdeteksi tanpa memerlukan komputasi yang rumit seperti pada fuzzy logic atau PID.

Sebagai contoh, ketika sensor mendeteksi hujan ringan, pompa akan aktif dalam waktu singkat untuk meniup air dari permukaan visor. Jika hujan semakin deras, sistem akan meningkatkan durasi atau kecepatan kerja pompa agar permukaan visor tetap bersih. Setelah hujan berhenti dan sensor tidak lagi mendeteksi adanya air, sistem akan secara otomatis mematikan pompa untuk menghemat energi.

Sistem Pembersih Visor Helm Otomatis Berbasis Udara Tekan dengan Kendali PID terdiri dari beberapa komponen utama, komponen yang digunakan sebagai berikut:

1. Sensor hujan : mendeteksi keberadaan dan intensitas tetesan air pada permukaan visor. Sensor mengirimkan sinyal ke mikrokontroler sebagai dasar untuk menentukan kondisi hujan.
2. Mini Air Pump : berfungsi menghasilkan aliran udara yang diarahkan ke visor melalui selang dan nozzle. Tekanan udara ini akan meniup tetesan air agar tidak menempel pada permukaan visor.
3. Mikrokontroler : sebagai pusat kendali sistem yang memproses data dari sensor hujan dan menjalankan logika rule-based control untuk mengatur kerja pompa.
4. Driver pompa : berfungsi sebagai penguat arus dan tegangan agar mikrokontroler dapat mengendalikan pompa dengan aman.
5. Catu daya : menyediakan sumber energi untuk semua komponen sistem, dengan efisiensi tinggi agar dapat beroperasi dalam waktu lama tanpa mengganggu perangkat helm lainnya.

6. Selang udara dan nozzle : berfungsi sebagai media penyalur dan pengarah aliran udara yang dihasilkan oleh mini air pump menuju permukaan kaca helm. Selang udara digunakan untuk menyalurkan udara dari pompa ke bagian depan helm, sedangkan nozzle berfungsi untuk mengarahkan aliran udara secara presisi ke area kaca yang tertutup tetesan air hujan.

Sistem Pembersih Visor Helm Otomatis Berbasis Udara Tekan dengan Kendali PID ini memiliki cara kerja secara umum sebagai berikut:

- 1) Deteksi Kondisi Hujan : sensor hujan yang terpasang pada bagian luar helm akan mendeteksi keberadaan air hujan. Ketika permukaannya terkena air, sensor akan menghasilkan perubahan nilai resistansi yang diterjemahkan menjadi sinyal digital atau analog oleh mikrokontroler. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi hujan sedang terjadi.
- 2) Pemrosesan Data : tahapan ini merupakan inti dari sistem, di mana mikrokontroler berperan sebagai otak utama yang memproses seluruh data yang diterima dari sensor hujan. Ketika sensor mendeteksi adanya tetesan air pada permukaannya, sinyal tersebut dikirimkan ke mikrokontroler dalam bentuk data analog atau digital. Data ini kemudian diolah menggunakan metode Rule-Based Control, yaitu metode pengendalian yang bekerja berdasarkan sekumpulan aturan logika sederhana yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap aturan menggambarkan hubungan antara kondisi yang terdeteksi oleh sensor (input) dan tindakan yang harus dilakukan oleh sistem (output).
- 3) Aktivasi pompa udara : berdasarkan hasil keputusan dari logika kontrol, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal ke driver pompa untuk menyalakan mini air pump. Pompa kemudian menghasilkan aliran udara bertekanan yang dialirkan melalui selang dan nozzle menuju permukaan visor helm.
- 4) Pemberhentian otomatis : Setelah beberapa detik atau ketika sensor hujan mendeteksi bahwa tidak ada lagi air di permukaannya, sistem akan mematikan mini air pump secara otomatis. Proses ini menjaga efisiensi energi dan mencegah penggunaan daya yang berlebihan selama helm digunakan.

Selanjutnya untuk mengatasi masalah kesehatan pada helm akibat helm lembab atau basah, maka solusi yang diusulkan dengan memanfaatkan lampu pijar serta sinar infrared yang dikendalikan menggunakan metode *rule-based control*.

Pendekatan ini menggabungkan prinsip pengeringan dengan pemanasan dan penetrasi gelombang inframerah, yang kemudian diatur oleh sistem logika berbasis aturan sehingga dapat bekerja otomatis sesuai kondisi helm. Dengan rancangan ini, diharapkan helm dapat dikeringkan sekaligus disterilkan dalam waktu yang lebih efisien, aman, dan terukur.



Gambar 1. 2 Lampu Pijar

Lampu pijar merupakan salah satu sumber panas sederhana yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi rumah tangga maupun industri. Dimana lampu pijar menghasilkan 10% cahaya tampak dan 90% diubah menjadi panas. Prinsip kerjanya adalah dengan mengalirkan arus listrik melalui filamen hingga berpijar dan menghasilkan cahaya sekaligus panas. Pada konteks solusi ini, panas yang dihasilkan lampu pijar digunakan sebagai elemen pemanas tambahan untuk membantu menurunkan kelembapan di dalam ruang pengeringan helm. Dengan kenaikan suhu hingga lebih dari 45 °C, lampu pijar berperan penting dalam mengeringkan helm dan mengurangi jumlah bakteri yang menempel pada permukaan helm.



Gambar 1. 3 Sinar Infrared

Selain lampu pijar, sistem ini juga dilengkapi dengan sinar infrared (IR). Sinar infrared adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih panjang daripada cahaya tampak, yang memiliki kemampuan menembus lapisan permukaan hingga ke jaringan atau material tertentu. Pada perancangan ini, infrared digunakan untuk memberikan pemanasan langsung pada permukaan helm, terutama pada bagian yang sulit dijangkau hanya dengan sirkulasi udara panas. Infrared memiliki kelebihan karena panas yang dihasilkan dapat lebih cepat diserap oleh material helm dan kain pelapis bagian dalam, sehingga proses pengeringan menjadi lebih

efisien. Selain itu, paparan sinar infrared juga memiliki efek antibakteri karena dapat merusak struktur protein mikroorganisme sehingga mempercepat proses sterilisasi. Dengan kombinasi lampu pijar dan infrared, sistem ini mampu menciptakan lingkungan dengan suhu dan intensitas panas yang cukup untuk mengeringkan serta mensterilkan helm secara bersamaan.

Untuk mengatur kerja kedua elemen pemanas ini, digunakan metode rule based control. Rule based control adalah sebuah metode pengendalian yang berbasis pada seperangkat aturan (rule) yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap aturan menggambarkan hubungan antara kondisi masukan yang diperoleh dari sensor dengan aksi yang harus dijalankan oleh sistem. Dalam konteks alat ini, sensor kelembapan akan membaca kondisi helm apakah berada pada kategori kering, lembab, atau basah. Nilai tersebut kemudian menjadi input bagi sistem rule-based yang telah diprogram. Contoh penerapan dari metode rule base control sebagai berikut:

$$u(t) = \begin{cases} 100\%, & \text{jika } RH > 80\% \\ 75\%, & \text{jika } 60 < RH \leq 80\% \\ 50\%, & \text{jika } 40 < RH \leq 60\% \\ 0, & \text{jika } RH \leq 40\% \end{cases}$$

1. Jika helm sangat basah ($>80\%$ RH), maka lampu pijar dan infrared menyala penuh (100%).
2. Jika lembap sedang (60-80%), daya dikurangi menjadi 75%.
3. Jika mulai kering (40-60%), sistem beralih ke 50%.
4. Jika sudah kering ($\leq 40\%$), sistem dimatikan otomatis.

Secara umum, cara kerja solusi ini dimulai dari tahap pendeteksian oleh sensor kelembapan yang ditempatkan pada ruang pengeringan helm. Sensor akan mengukur kelembapan relatif secara real-time, lalu data tersebut dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses. Mikrokontroler menjalankan algoritma rule-based control, kemudian memutuskan tindakan yang tepat sesuai kondisi helm. Apabila terdeteksi kondisi basah, maka sistem akan mengaktifkan lampu pijar dan infrared secara penuh. Sementara itu, untuk kondisi lembab, hanya lampu pijar yang dinyalakan untuk memberikan pengeringan ringan. Selama proses berlangsung, sistem pemrosesan data bekerja secara terus-menerus untuk memastikan bahwa

suhu di dalam ruang pengeringan tetap stabil di atas 45 °C namun tidak berlebihan agar material helm tidak rusak. Proses ini juga dilengkapi dengan notifikasi kepada pengguna, baik berupa indikator status helm berupa kering, lembab, basah maupun informasi ketika proses pengeringan dan sterilisasi telah selesai sehingga helm siap digunakan kembali.

Keterkaitan dengan fitur dasar juga terlihat jelas. Sistem pendeteksian berfungsi sebagai input utama bagi rule-based control untuk mengklasifikasikan kondisi helm. Pemrosesan data secara real-time memastikan setiap perubahan kelembapan dapat segera ditangani. Metode komputasi berupa rule-based control menjadi inti logika sistem, menghubungkan antara data sensor dengan aksi pemanas. Sistem pengeringan diwujudkan melalui penggunaan lampu pijar dan infrared, sementara sistem sterilisasi tercapai berkat panas intensif dari lampu pijar serta sinar infrared. Terakhir, fitur notifikasi memberikan kenyamanan tambahan bagi pengguna dengan informasi yang akurat mengenai status helm.

Sementara itu, dari sisi fitur tambahan, solusi ini juga relevan. Waktu pengerjaan sistem diperkirakan dapat selesai dalam enam bulan dengan mempertimbangkan integrasi komponen pemanas, sensor, dan algoritma rule-based. Dari sisi biaya, penggunaan lampu pijar membutuhkan Watt yang besar untuk menghasilkan panas yang maksimal sehingga akan mengeluarkan biaya pemakaian untuk solusi ini. Konsumsi energi juga dapat dioptimalkan karena rule-based control memastikan pemanas hanya aktif ketika dibutuhkan. Desain alat dirancang kokoh untuk menahan suhu tinggi serta memastikan keamanan selama pengoperasian.

Secara keseluruhan, solusi menggunakan lampu pijar dan sinar infrared dengan metode rule-based control menawarkan pendekatan yang sederhana namun efektif. Sistem ini tidak hanya mengeringkan helm dengan cepat, tetapi juga memberikan perlindungan kesehatan dengan mereduksi bakteri atau jamur. Dengan dukungan fitur dasar dan tambahan yang telah dirancang, solusi ini memiliki potensi besar untuk memberikan dampak positif bagi pengendara motor, baik dalam aspek kenyamanan maupun kesehatan kulit kepala.

2. Sistem Wiper Helm Otomatis Berbasis Sensor Hujan dan LDR Serta Menggunakan Fan Heater dan Sinar UV-C Untuk Pengering dan Sterilisasi Helm Berbasis Metode Fuzzy Logic

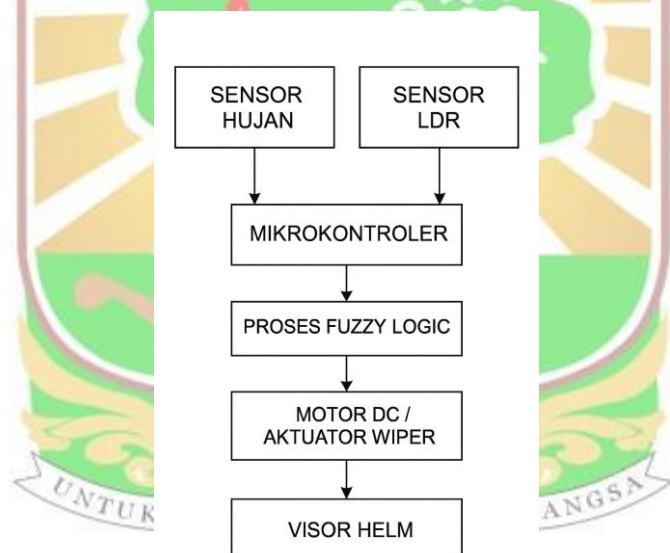
Solusi berikutnya yang ditawarkan untuk mengatasi terkait permasalahan keterbatasan jarak pandang saat hujan yaitu sistem wiper helm otomatis berbasis sensor hujan dan ldr. Dimana solusi ini dirancang untuk mengatasi permasalahan berkurangnya visibilitas pengendara sepeda motor saat hujan akibat tertutupnya visor oleh tetesan air. Sistem wiper helm otomatis ini bekerja dengan memanfaatkan sensor hujan untuk mendeteksi adanya tetesan air pada permukaan visor dan sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya di sekitar pengendara. Data dari kedua sensor tersebut diolah menggunakan metode logika fuzzy, yang memungkinkan sistem untuk menentukan tingkat keparahan hujan dan kondisi pencahayaan, kemudian mengatur kecepatan gerakan wiper secara otomatis.

Metode logika fuzzy digunakan karena mampu menangani data sensor yang bersifat tidak pasti atau ambigu. Dalam kondisi nyata, intensitas hujan tidak selalu konstan bisa ringan, sedang, atau deras dan tingkat pencahayaan juga dapat berubah akibat faktor lingkungan seperti waktu sore atau lampu jalan. Dengan logika fuzzy, sistem dapat mengklasifikasikan kondisi ini ke dalam beberapa derajat keanggotaan seperti ringan, sedang, dan lebat untuk hujan, serta terang dan gelap untuk cahaya. Berdasarkan hasil inferensi tersebut, sistem menentukan kecepatan wiper yang paling sesuai agar pengendara tetap memiliki pandangan yang jelas tanpa perlu mengoperasikannya secara manual.

Dalam sistem ini, mikrokontroler bertindak sebagai pusat pemrosesan yang mengumpulkan data dari sensor hujan dan LDR, kemudian menjalankan algoritma fuzzy untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan. Ketika sensor hujan mendeteksi adanya air dengan tingkat tertentu dan LDR menunjukkan pencahayaan rendah, sistem secara otomatis mengaktifkan wiper dengan kecepatan yang telah ditentukan oleh aturan fuzzy. Selain itu, sistem dapat menonaktifkan wiper secara otomatis ketika kondisi hujan berhenti, sehingga penggunaan daya menjadi efisien.

Sistem Wiper Helm Otomatis Berbasis Sensor Hujan dan LDR Menggunakan Logika Fuzzy terdiri dari beberapa komponen utama, komponen yang digunakan sebagai berikut:

1. Sensor hujan : mendeteksi adanya air atau hujan pada permukaan helm. Sensor ini menjadi input utama bagi sistem untuk menentukan apakah wiper perlu diaktifkan.
2. Sensor LDR : mendeteksi tingkat pencahayaan di sekitar pengendara. Data dari sensor ini membantu sistem menyesuaikan kecepatan wiper sesuai kondisi terang atau gelap.
3. Mikrokontroler : pusat kendali yang memproses data dari kedua sensor menggunakan metode logika fuzzy untuk menentukan tingkat kecepatan wiper secara otomatis.
4. Motor DC : penggerak wiper pada visor helm. Motor ini akan bergerak sesuai dengan keputusan yang dihasilkan oleh sistem fuzzy.
5. Sumber daya : sistem menggunakan baterai helm atau sumber daya kecil lainnya yang efisien untuk mengoperasikan seluruh komponen.



Gambar 1. 4 Blok diagram cara kerja Solusi 1

Berikut adalah tahapan-tahapan proses yang dilakukan pada solusi ini:

1. Sensor Hujan : Sensor ini berfungsi mendeteksi adanya tetesan air hujan pada permukaan helm. Ketika air hujan mengenai sensor, sinyal analog akan berubah sesuai dengan tingkat kelembapan atau konduktivitas air yang terdeteksi. Data ini menjadi salah satu masukan utama sistem untuk menentukan apakah kondisi hujan sedang terjadi.

2. Sensor LDR (Light Dependent Resistor) : Sensor LDR berfungsi mendeteksi intensitas cahaya di sekitar pengendara. Nilai resistansi sensor ini akan berubah tergantung pada jumlah cahaya yang diterima semakin gelap lingkungan, semakin tinggi resistansinya. Informasi ini digunakan untuk menyesuaikan kecepatan atau intensitas kerja wiper sesuai kondisi pencahayaan.
3. Mikrokontroler : Mikrokontroler bertindak sebagai pusat pengendalian utama. Komponen ini menerima data dari kedua sensor, mengolahnya sesuai dengan logika sistem, dan mengirimkan sinyal kendali ke motor wiper berdasarkan hasil keputusan. Mikrokontroler juga berfungsi untuk menyesuaikan respon sistem secara real-time terhadap perubahan cuaca dan pencahayaan.
4. Proses Logika Fuzzy : Pada tahap ini, sistem menerapkan metode logika fuzzy untuk mengambil keputusan berdasarkan data sensor yang bersifat tidak pasti atau memiliki nilai rentang. Logika fuzzy memungkinkan sistem untuk mengenali kondisi hujan ringan, hujan sedang, atau hujan lebat serta kondisi terang atau gelap secara fleksibel. Berdasarkan aturan if-then yang telah dirancang, sistem menentukan tingkat kecepatan wiper yang sesuai.
5. Motor DC atau Aktuator Wiper : Motor DC berfungsi sebagai aktuator yang menggerakkan bilah wiper pada visor helm. Motor ini menerima sinyal keluaran dari mikrokontroler untuk menentukan kecepatan gerak wiper misalnya, lambat saat hujan ringan dan cepat saat hujan deras.
6. Visor Helm : Komponen ini merupakan bagian akhir dari sistem, yaitu permukaan pelindung pengendara yang dibersihkan oleh wiper. Hasil kerja seluruh sistem ditujukan untuk menjaga kebersihan visor agar pengendara tetap memiliki visibilitas yang baik selama berkendara di bawah hujan.

Sistem wiper helm otomatis berbasis logika fuzzy ini memiliki cara kerja secara umum sebagai berikut:

1. Deteksi kondisi lingkungan : sensor akan mendeteksi kondisi lingkungan di sekitar helm, seperti adanya tetesan air pada permukaan visor dan tingkat pencahayaan di sekitar pengendara. Data ini akan menjadi masukan utama bagi sistem untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan.

2. Pemrosesan data : mikrokontroler menerima data dari sensor dan mengolahnya menggunakan metode logika fuzzy untuk mengonversi nilai yang terbaca menjadi kategori tertentu, misalnya tingkat hujan ringan, sedang, atau lebat, serta kondisi pencahayaan terang atau gelap.
3. Pengambilan Keputusan : Berdasarkan aturan logika fuzzy yang telah dirancang, sistem akan menentukan tingkat kecepatan wiper yang sesuai.
 - a. IF hujan ringan AND pencahayaan terang THEN wiper bergerak lambat.
 - b. IF hujan sedang AND pencahayaan normal THEN wiper bergerak dengan kecepatan sedang.
 - c. IF hujan lebat AND pencahayaan rendah THEN wiper bergerak cepat.
 - d. IF tidak ada hujan THEN wiper berhenti.
4. Output : Berdasarkan hasil keputusan dari sistem fuzzy, mikrokontroler akan mengirimkan sinyal ke aktuator (motor penggerak wiper) untuk menyesuaikan kecepatan gerakannya. Dengan demikian, wiper dapat bekerja otomatis sesuai kondisi hujan yang terdeteksi, sehingga visibilitas pengendara tetap terjaga tanpa perlu pengoperasian manual.

Skenario penggunaan produk :

Seorang pengendara motor sedang berkendara di jalan raya pada sore hari. Cuaca awalnya cerah, dan sistem wiper helm berada dalam kondisi siaga (standby) karena tidak ada indikasi hujan yang terdeteksi oleh sensor hujan. Sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya yang masih tinggi, menandakan kondisi lingkungan cukup terang.

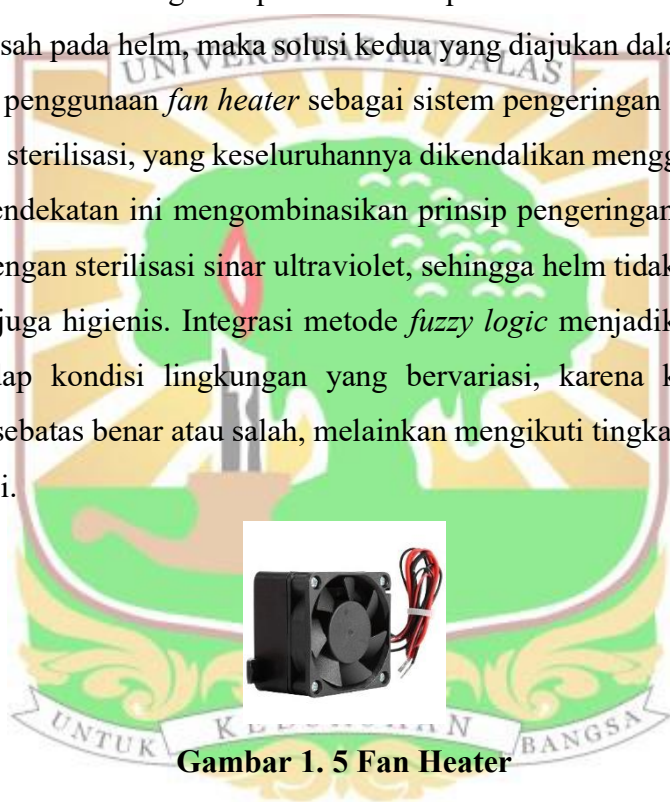
Beberapa saat kemudian, gerimis mulai turun. Sensor hujan yang terpasang pada helm mendeteksi adanya tetesan air pertama di permukaannya. Nilai kelembapan meningkat, dan sinyal ini dikirim ke mikrokontroler. Berdasarkan data tersebut, sistem logika fuzzy memutuskan bahwa kondisi saat ini tergolong hujan ringan, sehingga motor wiper mulai bergerak dengan kecepatan rendah untuk menyapu tetesan air pada visor helm.

Intensitas hujan semakin meningkat menjadi hujan sedang hingga lebat. Sensor hujan mendeteksi lebih banyak tetesan air, sementara sensor LDR juga membaca bahwa cahaya mulai menurun akibat langit yang mendung. Mikrokontroler

kemudian menyesuaikan hasil pemrosesan fuzzy logic dan mengatur motor wiper berputar lebih cepat, memastikan permukaan visor tetap bersih dari air agar visibilitas pengendara tetap optimal.

Setelah beberapa menit, hujan mulai mereda dan berhenti. Sensor hujan kembali menunjukkan nilai kering, dan sistem secara otomatis mematikan motor wiper untuk menghemat daya. Seluruh proses ini terjadi tanpa intervensi manual dari pengendara, karena sistem bekerja otomatis berdasarkan data sensor dan hasil logika fuzzy.

Selanjutnya untuk mengatasi permasalahan pada kesehatan akibat kondisi lembab dan basah pada helm, maka solusi kedua yang diajukan dalam perancangan alat ini adalah penggunaan *fan heater* sebagai sistem pengeringan dan sinar UV-C sebagai sistem sterilisasi, yang keseluruhannya dikendalikan menggunakan metode *fuzzy logic*. Pendekatan ini mengombinasikan prinsip pengeringan berbasis aliran udara panas dengan sterilisasi sinar ultraviolet, sehingga helm tidak hanya kembali kering, tetapi juga higienis. Integrasi metode *fuzzy logic* menjadikan sistem lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, karena keputusan yang diambil tidak sebatas benar atau salah, melainkan mengikuti tingkatan kelembapan yang terdeteksi.



Gambar 1. 5 Fan Heater

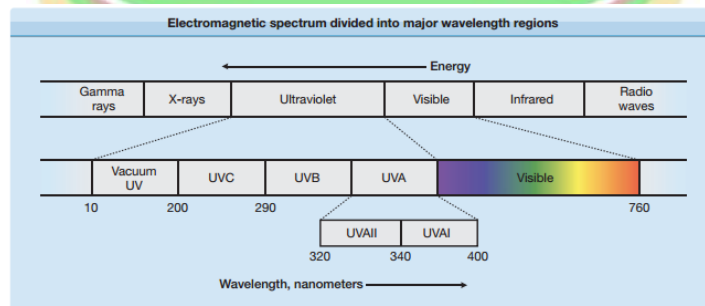
Fan heater adalah perangkat pemanas yang bekerja dengan memanfaatkan elemen pemanas dan kipas. Elemen pemanas menghasilkan panas ketika dialiri arus listrik, sedangkan kipas berfungsi untuk meniupkan udara panas tersebut ke ruang pengeringan. Prinsip kerja ini memungkinkan panas tersebar merata dan lebih cepat menurunkan tingkat kelembapan dibandingkan pemanas konvensional yang bekerja secara statis. Dalam konteks pengeringan helm, *fan heater* memiliki keunggulan karena dapat mempercepat proses evaporasi air yang menempel pada permukaan luar maupun lapisan dalam helm. Dengan sirkulasi udara panas yang terus bergerak,

kelembapan berlebih di dalam helm dapat berkurang secara signifikan, sehingga helm dapat digunakan kembali dalam waktu relatif singkat.



Gambar 1. 6 Sinar UV-C

Selain *fan heater*, sistem ini dilengkapi dengan sinar UV-C sebagai bagian dari proses sterilisasi. UV-C adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 200–280 nm yang memiliki daya penetrasi tinggi terhadap mikroorganisme. Radiasi ini bekerja dengan merusak DNA dan RNA bakteri, jamur, maupun virus, sehingga bakteri atau jamur kehilangan kemampuan untuk berkembang biak. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penyinaran UV-C dengan dosis tertentu efektif dalam menurunkan jumlah jamur dermatofita, termasuk *Microsporum gallinae*. Dengan memanfaatkan sinar UV-C, helm yang sebelumnya berisiko mengandung bakteri *Staphylococcus aureus* atau jamur penyebab tinea capitis dapat disterilisasi, sehingga lebih aman digunakan kembali. Kombinasi *fan heater* dan UV-C menjadikan solusi ini tidak hanya sekadar mengeringkan helm, tetapi juga memberikan jaminan kebersihan dari aspek kesehatan.



Gambar 1. 7 Spektrum Elektromagnetik

Spektrum elektromagnetik yang dibagi menjadi beberapa wilayah panjang gelombang, mulai dari sinar gamma hingga gelombang radio. Di dalamnya terdapat wilayah ultraviolet (UV) yang terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu UVA (320–400 nm), UVB (280–315 nm), dan UVC (100–280 nm). Posisi UVC berada paling dekat dengan sinar-X dan memiliki panjang gelombang paling pendek, yang berarti

energinya paling tinggi dibandingkan jenis UV lainnya. Energi tinggi inilah yang membuat UVC sangat efektif digunakan untuk sterilisasi dan desinfeksi, karena mampu merusak struktur DNA dan RNA mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur dermatofita, sehingga mencegah bakteri atau jamur untuk bereplikasi.

Untuk mengendalikan kedua sistem tersebut, digunakan metode *fuzzy logic*. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal dua kondisi (benar/salah, 0/1), *fuzzy logic* memperkenalkan konsep nilai kebenaran yang bersifat kontinu. Artinya, suatu kondisi dapat berada dalam rentang tertentu dengan tingkat keanggotaan (membership degree). Misalnya, kelembapan helm tidak hanya “basah” atau “kering”, tetapi bisa berada di tingkat “lembab sedang” atau “lembab tinggi”. Teori *fuzzy* ini didasarkan pada himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan (membership function) yang biasanya berbentuk segitiga, trapesium, atau Gaussian.

Untuk penerapannya diberikan nilai a,b, c sebagai titik batas seperti contoh berikut:

Tabel 1. 2 Contoh Penerapan Metode Fuzzy Logic

Kondisi Helm	Parameter (a,b,c)	Rentang RH (%)
Kering	0, 20, 40	$RH < 40\%$
Lembap	30, 55, 80	$40\% \leq RH \leq 80\%$
Basah	70, 85, 100	$RH > 70\%$

$$\mu_{Kering}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{20-0}, & 0 < x \leq 20 \\ \frac{40-x}{40-20}, & 20 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{Lembap}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{55-30}, & 30 < x \leq 55 \\ \frac{80-x}{80-55}, & 55 < x < 80 \\ 0, & x \geq 80 \end{cases}$$

$$\mu_{Basah}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 70 \\ \frac{x-70}{85-70}, & 70 < x \leq 85 \\ \frac{100-x}{100-85}, & 85 < x < 100 \\ 0, & x \geq 100 \end{cases}$$

Jika $x = 60\%$:

1. Kering

$$\mu_{\text{Kering}}(60) = 0 \text{ karena } x > c = 40$$

2. Lembab

$$\mu_{\text{Lembab}}(60) = \frac{80 - 60}{80 - 55} = \frac{20}{25} = 0.8$$

3. Basah

$$\mu_{\text{Basah}}(60) = 0 \text{ karena } x < a = 70$$

Maka helm dikategorikan “Lembap (0.8)”

Pada kasus ini, kelembapan helm dapat dikategorikan ke dalam beberapa himpunan *fuzzy*. Output dari *fuzzy logic* kemudian berupa tingkat pengaktifan *fan heater* (misalnya rendah, sedang, tinggi) dan durasi penyinaran UV-C (misalnya singkat, sedang, panjang). Proses ini terdiri dari tiga tahapan utama: fuzzifikasi (mengubah data sensor menjadi nilai *fuzzy*), inferensi (penerapan aturan berbasis *fuzzy IF-THEN*), dan defuzzifikasi (menghasilkan keluaran berupa aksi nyata).

Secara umum, cara kerja solusi ini dimulai dari tahap deteksi kelembapan menggunakan sensor yang ditempatkan di ruang pengeringan. Sensor membaca nilai kelembapan relatif secara real-time dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler. Data kemudian masuk ke sistem *fuzzy logic* yang telah diprogram dengan seperangkat aturan. Misalnya, jika kelembapan berada di kisaran 85–95%, maka aturan *fuzzy* akan menghasilkan keluaran berupa “*fan heater* tinggi + UV-C panjang”. Jika kelembapan hanya 40–60%, keluaran yang dihasilkan adalah “*fan heater* sedang + UV-C singkat”. Hasil keputusan ini kemudian dijalankan oleh sistem, yaitu dengan mengatur intensitas panas *fan heater* serta durasi penyinaran UV-C. Selama proses berjalan, pemrosesan data terus dilakukan untuk memantau perubahan kelembapan hingga helm mencapai kondisi kering (<30%). Setelah proses pengeringan dan sterilisasi selesai, sistem akan memberikan notifikasi kepada pengguna bahwa helm sudah aman untuk digunakan kembali.

Solusi ini sangat berkaitan dengan fitur dasar yang telah dirancang. Sistem pendeteksian berfungsi membaca kelembapan helm sebagai input utama. Pemrosesan data memastikan hasil deteksi tersaji secara real-time untuk mengaktifkan *fan heater* dan UV-C sesuai kebutuhan. Metode komputasi *fuzzy*

logic menjadi inti logika sistem, yang menghubungkan data sensor dengan aksi pengeringan dan sterilisasi. Sistem pengeringan diwujudkan melalui *fan heater* yang efektif menurunkan kelembapan, sedangkan sistem sterilisasi didukung oleh sinar UV-C yang membunuh mikroorganisme. Notifikasi berperan penting untuk memberi informasi kepada pengguna tentang status helm, baik saat masih lembab maupun setelah selesai diproses.

Keterkaitan dengan fitur tambahan juga jelas terlihat. Dari segi waktu pengerjaan, solusi ini dapat dirampungkan dalam enam bulan dengan integrasi perangkat keras dan pengembangan algoritma *fuzzy logic*. Dari aspek biaya, *fan heater* dan lampu UV-C relatif terjangkau sehingga implementasi tidak memerlukan anggaran yang terlalu tinggi. Energi pemakaian dapat dioptimalkan berkat *fuzzy logic* yang memastikan *fan heater* tidak selalu menyala penuh, melainkan menyesuaikan tingkat kelembapan. Desain alat dirancang kokoh untuk menahan panas dan radiasi UV-C sekaligus memastikan keselamatan pengguna.

Dengan kombinasi *fan heater*, UV-C, dan *fuzzy logic*, solusi ini menawarkan pendekatan yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien. Tidak hanya mempercepat pengeringan helm, tetapi juga memberikan jaminan kebersihan yang lebih baik dengan mengurangi risiko paparan bakteri atau jamur. Sistem ini dapat menjawab kebutuhan pengguna sepeda motor, khususnya di daerah dengan curah hujan tinggi, untuk tetap menggunakan helm yang kering, higienis, dan nyaman tanpa harus menunggu terlalu lama.

3. Sistem Pendeteksi Tetesan Air Hujan Pada Spidometer Motor Berbasis Kamera Menggunakan Metode YOLO Serta Menggunakan Zat Desikan dan Ozon Generator Untuk Pengering dan Sterilisasi Helm Berbasis Metode PID Control

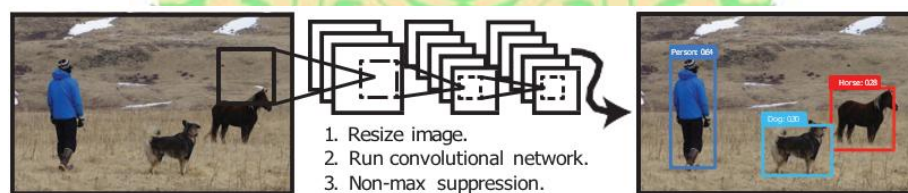
Untuk mengatasi permasalahan keterbatasan jarak pandang saat hujan, maka selanjutnya diberikan solusi sistem pembersih visor helm otomatis menggunakan mini air pump. Dimana solusi ini dirancang untuk mendeteksi kondisi hujan secara otomatis dengan memanfaatkan kamera dan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) sebagai sistem pengenalan visual berbasis deep learning. Pendekatan ini menggunakan teknologi visi computer *computer vision* untuk mengenali

keberadaan tetesan air secara langsung melalui citra video yang diambil dari lingkungan pengendara. Dengan sistem ini, deteksi hujan dapat dilakukan secara real-time, akurat, dan adaptif terhadap berbagai kondisi jalan maupun cuaca.

Dalam penerapannya, kamera ditempatkan di bagian depan helm dengan arah pandang ke spidometer motor, yaitu area yang paling sering terkena tetesan air ketika hujan turun. Permukaan spidometer dipilih karena menjadi indikator visual yang paling jelas untuk mendeteksi adanya air, mengingat letaknya terbuka dan mudah menangkap tetesan hujan dari arah depan. Kamera berfungsi menangkap citra secara kontinu, kemudian mengirimkan data tersebut ke unit pemrosesan untuk dianalisis menggunakan algoritma YOLO. YOLO berfungsi mengenali pola visual khas air hujan seperti bentuk tetesan, pantulan cahaya, serta perubahan tekstur pada permukaan spidometer. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sistem dapat mengidentifikasi kondisi hujan dan menentukan tingkat intensitasnya secara otomatis.

Dalam skenario penggunaan, sistem mulai aktif ketika pengendara menyalakan motor. Kamera secara otomatis memantau area spidometer motor untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan berupa munculnya tetesan air hujan. Ketika hujan mulai turun, permukaan spidometer menampilkan pola-pola visual khas seperti kilauan cahaya, aliran air kecil, atau pantulan cahaya dari tetesan air. Sistem kemudian memproses citra tersebut secara real-time dan mengenali adanya hujan. Setelah kondisi hujan terdeteksi, sistem akan mengirimkan sinyal ke unit kendali untuk menjalankan mekanisme tertentu seperti mengaktifkan wiper helm otomatis atau sistem penanganan visibilitas lainnya. Proses ini berlangsung tanpa intervensi pengendara, sehingga pengendara dapat tetap fokus mengemudi dengan visibilitas yang lebih aman dan stabil. Melalui mekanisme ini, solusi mampu menyelesaikan permasalahan berkurangnya visibilitas akibat hujan dengan memanfaatkan data visual langsung dari lingkungan. Sistem mampu memberikan respon cepat dan akurat, berbeda dengan sistem manual yang bergantung pada reaksi manusia. Dengan kamera yang diarahkan ke spidometer, sistem memperoleh representasi visual terbaik dari kondisi hujan di sekitar pengendara, karena area tersebut secara alami menjadi tempat jatuhnya tetesan air dari depan.

Algoritma YOLO (You Only Look Once) merupakan salah satu metode deteksi objek berbasis deep learning yang terkenal karena kecepatannya dan efisiensinya dalam memproses citra secara real-time. YOLO bekerja dengan membagi citra menjadi sejumlah grid, lalu memprediksi keberadaan objek pada setiap grid dalam satu tahap komputasi tunggal (single forward pass). Dengan pendekatan ini, deteksi dapat dilakukan dengan sangat cepat tanpa harus memecah citra menjadi beberapa bagian seperti pada metode CNN konvensional. Keunggulan utama dari YOLO adalah kemampuannya untuk melakukan deteksi instan (real-time detection) dengan tingkat akurasi tinggi. YOLO tidak hanya mengenali bentuk, tetapi juga pola tekstur dan pantulan cahaya khas dari objek. Dalam konteks ini, model dilatih untuk mendeteksi pola visual air hujan pada permukaan spidometer, seperti bentuk bulat tidak beraturan, garis pantulan cahaya, serta perubahan reflektifitas permukaan yang basah. Selain itu, YOLO memiliki robustness atau ketahanan yang tinggi terhadap perubahan pencahayaan dan kondisi lingkungan. Algoritma ini dapat tetap berfungsi baik dalam kondisi siang, malam, atau di bawah sorotan lampu kendaraan lain. Hal ini karena YOLO menganalisis fitur bentuk dan tekstur, bukan hanya warna. Model dapat terus ditingkatkan melalui proses pelatihan ulang (retraining) dengan dataset citra yang bervariasi, meliputi kondisi hujan ringan, sedang, dan deras, serta berbagai model spidometer dari tipe motor yang berbeda. Dengan demikian, sistem memiliki kemampuan adaptif yang tinggi dan tingkat kesalahan deteksi (false detection) yang rendah.



Gambar 1. 8 Sistem Deteksi Yolo

Gambar ini menunjukkan tahapan proses kerja algoritma *You Only Look Once* (YOLO) dalam mendeteksi objek pada sebuah citra secara *real-time*. Secara umum, YOLO bekerja dengan pendekatan *single shot detection*, di mana keseluruhan proses deteksi dilakukan hanya dalam satu kali pemrosesan citra menggunakan jaringan konvolusional (*Convolutional Neural Network*). Proses dimulai dengan mengubah ukuran citra masukan agar sesuai dengan dimensi standar yang

digunakan oleh model, seperti 416×416 atau 640×640 piksel. Tahap ini memastikan bahwa semua citra yang masuk ke sistem memiliki ukuran seragam sehingga dapat diproses secara efisien oleh jaringan saraf.

Setelah citra disesuaikan, tahap berikutnya adalah menjalankan jaringan konvolusional yang bertugas mengekstraksi fitur-fitur visual penting seperti bentuk, tepi, dan tekstur objek. YOLO kemudian membagi gambar menjadi beberapa grid, di mana setiap grid akan menghasilkan sejumlah bounding box yang mewakili kemungkinan keberadaan objek beserta nilai probabilitas kelasnya. Selanjutnya, sistem melakukan proses *non-maximum suppression* (NMS) untuk menyaring hasil deteksi dan menghapus *bounding box* yang saling tumpang tindih. Hanya kotak dengan nilai *confidence score* tertinggi yang dipertahankan agar setiap objek hanya terdeteksi satu kali secara akurat.

Hasil akhir dari proses tersebut dapat dilihat pada bagian kanan gambar, di mana sistem berhasil mendeteksi tiga objek berbeda yaitu person, dog, dan hors dengan menampilkan kotak pembatas (*bounding box*) dan nilai keyakinan (*confidence*) pada masing-masing objek. Proses ini menggambarkan kemampuan YOLO dalam mengenali dan mengklasifikasikan berbagai objek dalam satu citra dengan cepat dan efisien, sehingga metode ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan respons waktu nyata seperti sistem pendeteksi tetesan air hujan berbasis kamera.

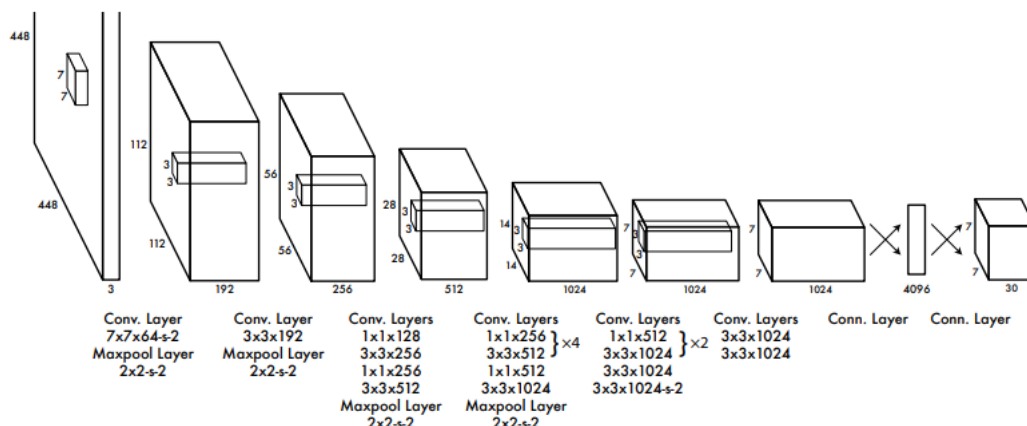


Gambar 1. 9 Model Yolo

Memperlihatkan tahapan proses kerja algoritma *You Only Look Once* (YOLO) dalam melakukan deteksi objek secara menyeluruh pada satu kali pemrosesan citra. Pada bagian kiri gambar, terlihat bahwa citra input dibagi menjadi beberapa kotak grid berukuran $S \times S$. Setiap grid memiliki tanggung jawab untuk mendeteksi objek yang pusatnya berada di dalam area grid tersebut. Pembagian ini memungkinkan sistem untuk menganalisis seluruh area gambar secara paralel sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses pendeteksian.

Selanjutnya, pada bagian tengah gambar ditunjukkan bahwa setiap grid menghasilkan sejumlah *bounding box* beserta nilai *confidence score* yang menunjukkan tingkat keyakinan model terhadap keberadaan objek di area tersebut. Nilai *confidence* ini dihitung berdasarkan probabilitas bahwa sebuah objek memang ada di dalam kotak tersebut dan seberapa akurat posisi kotak tersebut menggambarkan batas sebenarnya dari objek. Proses ini menghasilkan banyak kotak prediksi tumpang tindih untuk setiap objek yang terdeteksi.

Tahap akhir ditunjukkan pada bagian kanan gambar, di mana sistem melakukan proses *Non-Maximum Suppression* (NMS) untuk menghapus *bounding box* yang saling tumpang tindih dan hanya mempertahankan kotak dengan nilai *confidence* tertinggi. Hasil akhirnya menampilkan deteksi akhir (*final detections*) berupa *bounding box* berwarna di sekitar objek yang berhasil diidentifikasi, seperti sepeda dan anjing pada gambar. Melalui pendekatan ini, YOLO mampu mendeteksi beberapa objek dalam satu citra dengan kecepatan tinggi dan akurasi yang baik, sehingga sangat efektif digunakan dalam aplikasi real-time object detection seperti sistem pengawasan, kendaraan otonom, maupun pendeteksi kondisi lingkungan.



Gambar 1. 10 Arsitektur Jaringan YOLOv1

Menunjukkan struktur utama dari model *You Only Look Once* versi pertama yang digunakan untuk melakukan deteksi objek secara menyeluruh dalam satu tahap (*single-stage detection*). Arsitektur ini terinspirasi dari jaringan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang diadaptasi untuk memproses citra masukan berukuran 448×448 piksel dan menghasilkan prediksi posisi serta kelas objek secara langsung dari citra tersebut.

Pada bagian awal jaringan, citra masukan melalui lapisan konvolusi dengan ukuran kernel 7×7 dan stride 2 yang berfungsi untuk mengekstraksi fitur-fitur dasar seperti tepi, bentuk, dan pola tekstur. Lapisan ini diikuti oleh *Maxpool Layer* berukuran 2×2 untuk mengurangi dimensi spasial citra sekaligus memperkecil kompleksitas perhitungan. Selanjutnya, jaringan memiliki beberapa blok konvolusi dengan ukuran kernel 3×3 dan 1×1 yang digunakan untuk memperdalam pemahaman terhadap fitur-fitur kompleks dalam citra. Lapisan 1×1 berfungsi untuk mereduksi jumlah saluran (*channel reduction*), sementara lapisan 3×3 berperan dalam menangkap konteks spasial yang lebih luas.

Seiring dengan bertambahnya kedalaman jaringan, jumlah feature map meningkat dari 64 hingga 1024, menunjukkan peningkatan kompleksitas fitur yang dipelajari. Setelah proses konvolusi terakhir, data dimasukkan ke dalam dua lapisan *fully connected* (FC) dengan ukuran 4096 neuron yang bertugas untuk melakukan prediksi akhir berupa koordinat bounding box, nilai kepercayaan (*confidence score*), dan probabilitas kelas objek. Pada bagian output, YOLOv1 menghasilkan

prediksi berbentuk tensor berukuran $7 \times 7 \times 30$, di mana setiap sel grid memprediksi dua kotak deteksi dan lima parameter utama (x, y, w, h, confidence), serta 20 kelas objek sesuai dengan dataset PASCAL VOC yang digunakan dalam penelitian aslinya.

Secara keseluruhan, arsitektur YOLOv1 dirancang untuk mendeteksi objek secara end-to-end dengan kecepatan tinggi tanpa memerlukan tahap terpisah seperti pada metode R-CNN. Hal ini membuat YOLOv1 menjadi pelopor dalam sistem *real-time object detection* dengan efisiensi komputasi yang tinggi dan arsitektur jaringan yang relatif sederhana namun efektif.

Sistem Pendeteksi Tetesan Air Hujan pada Spidometer Motor Berbasis Kamera Menggunakan Metode YOLO terdiri dari beberapa komponen utama, komponen yang digunakan sebagai berikut:

1. Kamera : digunakan untuk menangkap citra spidometer motor secara real-time. Kamera ini harus memiliki resolusi cukup tinggi dan kemampuan merekam dalam berbagai kondisi pencahayaan.
2. Mikrokontroler : bertindak sebagai pusat pemrosesan data. Komponen ini menjalankan algoritma YOLO dan melakukan analisis terhadap hasil citra dari kamera.
3. Modul AI : Berfungsi mempercepat proses inferensi YOLO agar dapat berjalan real-time dengan konsumsi daya yang efisien.
4. Aktuator : dapat digunakan untuk menggerakkan wiper yang dapat meningkatkan visibilitas pengendara setelah hujan terdeteksi
5. Catu daya : Menyediakan energi dari baterai helm untuk menyalakan kamera dan unit pemrosesan.

Sistem Pendeteksi Tetesan Air Hujan pada Spidometer Motor Berbasis Kamera Menggunakan Metode YOLO ini memiliki cara kerja secara umum sebagai berikut:

1. Pengambilan citra : Kamera yang dipasang di bagian depan helm menangkap citra spidometer motor secara real-time untuk memantau adanya tetesan air hujan.
2. Pemrosesan citra : Gambar yang diperoleh dikirim ke sistem pemrosesan untuk dianalisis menggunakan algoritma YOLO (You Only Look Once).

3. Deteksi objek : YOLO membagi citra menjadi beberapa grid dan mendeteksi objek berupa tetesan air berdasarkan bentuk, pantulan cahaya, serta tekstur khas air pada permukaan spidometer.
4. Analisis dan keputusan : Sistem menghitung jumlah dan intensitas tetesan yang terdeteksi. Jika melebihi ambang batas tertentu, sistem menyimpulkan bahwa kondisi hujan sedang terjadi.
5. Tindakan otomatis : hasil deteksi digunakan untuk memicu aksi untuk mengaktifkan aktuator (wiper helm).

Selanjutnya untuk mengatasi permasalahan kesehatan akibat kondisi helm lembab atau basah, maka solusi ketiga yang dirancang dalam sistem ini adalah kombinasi zat desikan sebagai media pengeringan pasif, ozon generator sebagai media sterilisasi, serta metode PID control untuk memastikan kestabilan proses. Pendekatan ini menawarkan alternatif berbeda dibanding solusi sebelumnya yang berbasis pemanas, dengan menitik beratkan pada efisiensi energi dan efektivitas sterilisasi. Sistem ini memadukan mekanisme penyerapan kelembapan oleh zat desikan dengan teknologi ozonisasi yang mampu membunuh mikroorganisme secara menyeluruh. Seluruh proses dikendalikan oleh algoritma PID agar pengeringan dan sterilisasi berjalan stabil, terukur, serta sesuai kebutuhan.



Gambar 1. 11 Zat Desikan

Zat desikan adalah bahan yang memiliki kemampuan menyerap kelembapan dari udara sekitarnya. Bahan ini biasanya berupa senyawa higroskopis seperti gel silika, kalsium klorida, atau zeolit, yang secara alami mampu mengikat molekul air. Prinsip kerja zat desikan sederhana, yaitu udara lembab yang berada di sekitar helm akan melewati media desikan, kemudian kandungan uap air di udara tersebut diserap sehingga kelembapan relatif berkurang. Penggunaan desikan dalam sistem ini memberi keuntungan dari sisi efisiensi energi, karena tidak memerlukan listrik untuk menghasilkan panas seperti pada *fan heater*. Selain itu, proses penyerapan kelembapan terjadi secara pasif dan dapat berlangsung terus-menerus hingga zat

desikan mencapai kapasitas jenuhnya. Dengan penempatan yang strategis, zat desikan dapat menyerap kelembapan pada ruang penyimpanan helm sehingga kondisi bagian dalam helm menjadi lebih kering dalam waktu tertentu.



Gambar 1. 12 Ozon Generator

Sementara itu, proses sterilisasi dilakukan dengan ozon generator. Ozon (O_3) adalah molekul yang terdiri dari tiga atom oksigen dan memiliki sifat oksidator yang sangat kuat. Ozon generator bekerja dengan cara mengubah oksigen (O_2) di udara menjadi ozon melalui pelepasan energi listrik bertegangan tinggi (discharge corona). Ozon yang dihasilkan akan menyebar di ruang sterilisasi dan bereaksi dengan membran sel mikroorganisme. Mekanisme ini menyebabkan kerusakan pada dinding sel bakteri maupun jamur, sehingga bakteri atau jamur kehilangan kemampuan untuk hidup dan berkembang. Dibandingkan metode penyinaran langsung, ozon memiliki kelebihan karena dapat menjangkau celah-celah kecil yang mungkin sulit terkena cahaya. Dalam konteks helm, ozon generator memastikan sterilisasi yang lebih menyeluruh terhadap bakteri seperti *Escherichia coli* maupun jamur penyebab tinea capitis yang berisiko menimbulkan penyakit pada kulit kepala.

Untuk menjaga agar kedua sistem berjalan optimal, digunakan metode PID control (Proportional-Integral-Derivative). PID adalah salah satu algoritma kontrol paling umum yang digunakan dalam sistem kendali otomatis karena kemampuannya menjaga kestabilan output terhadap input yang berubah-ubah. Konsepnya adalah membandingkan nilai yang diukur dari sensor (proses variabel) dengan nilai target yang diinginkan (set point), kemudian menghasilkan sinyal kendali berdasarkan tiga komponen utama:

1. Proportional (P): memberikan koreksi sebanding dengan besar error (selisih set point dan nilai aktual).

2. Integral (I): memperhitungkan akumulasi error dari waktu ke waktu untuk menghilangkan offset yang menetap.
3. Derivative (D): memprediksi arah perubahan error sehingga mampu mempercepat respon sistem dan mengurangi osilasi.

Persamaan PID diskret yang digunakan (bentuk umum):

$$u[k] = K_p e[k] + K_i \sum_{i=0}^k e[i] \Delta t + K_d \frac{e[k] - e[k-1]}{\Delta t}.$$

Dengan $u(k)$ adalah sinyal kendali, $e(k)$ error, K_p konstanta proportional, K_i konstanta integral, dan K_d konstanta derivative. Dalam sistem ini, PID berperan mengatur laju sirkulasi udara melalui ruang desikan, durasi operasi ozon generator, serta menjaga kestabilan kelembapan agar sesuai dengan batas yang diinginkan.

Secara umum, cara kerja solusi ini dimulai dari proses deteksi kondisi awal helm, yaitu tingkat kelembapan yang diukur secara real-time. Data sensor masuk ke sistem kendali, kemudian dibandingkan dengan nilai set point yang telah ditentukan, misalnya kelembapan $<40\%$. Jika nilai kelembapan melebihi set point, maka PID control mengaktifkan mekanisme sirkulasi udara agar zat desikan menyerap kelembapan lebih cepat. Selanjutnya, setelah kelembapan turun mendekati set point, sistem akan mengalihkan fokus pada proses sterilisasi dengan mengaktifkan ozon generator. Ozon dialirkan ke dalam ruang helm dalam durasi tertentu yang diatur oleh PID agar konsentrasi tetap efektif namun tidak berlebihan. Seluruh proses berjalan secara simultan, kelembapan berangsur berkurang berkat zat desikan, sementara ozon memastikan reduksi mikroorganisme berlangsung efektif. Setelah kondisi kelembapan stabil dan siklus sterilisasi selesai, sistem akan mematikan ozon generator secara otomatis, kemudian mengirimkan notifikasi bahwa helm telah kering dan steril.

Keterkaitan dengan fitur dasar sangat jelas terlihat. Sistem pendeteksian berfungsi membaca kondisi kelembapan helm dan mendeteksi saatnya sterilisasi dimulai. Pemrosesan data memastikan semua informasi diolah secara real-time, sehingga sistem mampu menyesuaikan tindakan. Metode komputasi dengan PID menjadi inti kendali, menjaga agar sistem stabil dan efisien. Sistem pengeringan diwujudkan melalui zat desikan yang menyerap kelembapan, sedangkan sistem sterilisasi dijalankan dengan ozon generator yang membunuh mikroorganisme.

Notifikasi menjadi penanda bagi pengguna bahwa helm sudah siap digunakan kembali.

Dari sisi fitur tambahan, waktu pengerjaan solusi ini tetap dapat diselesaikan dalam enam bulan dengan perencanaan matang. Dari aspek biaya, solusi ini cenderung hemat energi karena zat desikan bekerja pasif dan ozon generator hanya aktif dalam durasi tertentu. Energi pemakaian lebih rendah dibanding solusi berbasis pemanas, sehingga mendukung efisiensi. Desain alat perlu dibuat kokoh agar mampu menampung media desikan sekaligus melindungi pengguna dari kebocoran ozon, karena paparan berlebih berpotensi berbahaya.

Dengan pendekatan ini, solusi ketiga memberikan alternatif yang efisien energi, relatif hemat biaya, namun tetap efektif dari sisi sterilisasi. Kombinasi zat desikan, ozon generator, dan metode PID control mampu menciptakan sistem pengeringan helm yang aman, adaptif, dan dapat diandalkan. Helm tidak hanya kembali kering, tetapi juga bebas dari bakteri atau jamur yang membahayakan kesehatan pengguna.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Untuk mengetahui solusi mana yang terbaik maka kita perlu melakukan analisa terhadap solusi solusi yang telah diberikan. untuk metode analisa yang akan digunakan adalah metode House of Quality (HoQ). House of Quality atau yang biasa disingkat HoQ merupakan sebuah alat yang mendukung metode Quality Function Development. HoQ terdiri dari beberapa bagian yaitu *Customer Needs and Benefits*, *Planning Matrix*, *Technical Response*, *Relationship Matrix*, *Technical Correlations*, *Technical Matrix* [23]. Matriks HOQ ini adalah upaya untuk mengkonversikan *voice of customer* secara langsung terhadap karakteristik teknis atau spesifikasi teknis dari sebuah perencanaan yang dihasilkan.

1. Sistem Terkait Masalah Blind Spot dan Ergonomi Serta Kelelahan Pengendara

Berikut akan dilakukan Analisa menggunakan metode HoQ untuk menentukan solusi mana yang paling cocok untuk diimplementasikan pada sistem Terkait Masalah Blind Spot dan Ergonomi Serta Kelelahan Pengendara.

Tabel 1. 3 HOQ Sistem Terkait Masalah Blind Spot dan Ergonomi Serta Kelelahan Pengendara

		Fitur Dasar		Fitur									
Konstrai	House Of Quality												
		Rank of Importance	Percent of Importance	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
				Sending Capability	Notification/ Output Capability	Computing Performance	Computing Method	Low Power Consumption	Hemat Biaya	Kesehatan Perangkat	Waktu Pengerjaan 6 Bulan		
	Sistem harus berukuran ringkas dan tidak mengganggu ergonomi pengendara	4	13,33%	○	○	○		○	○	○	○		
	Sistem hanya berfungsi sebagai alat bantu keselamatan, bukan pengganti kewaspadaan pengendara	5	16,66%	○	○	○	○	○	○	○	○		
	Sistem memiliki konsumsi daya rendah dan kompatibel dengan kestabilan sepeda motor	3	10,00%	○		○		▲	○				
	Sistem mampu memberikan peringatan yang sederhana, jelas, dan tidak menimbulkan distraksi	5	22,72%	○	○	○		○	○	○	○		
	Sistem deteksi blind spot dibatasi pada jarak dan sudut tertentu sesuai kemampuan sensor.	4	13,33%	○	○	○	○	▲	○	○	○		
	Sistem pemantauan kelelahan hanya memberikan indikasi awal dan tidak bersifat diagnosis medis.	4	13,33%	○	○	○	○	▲	○	○	○		
	Sistem dirancang dengan mengacu pada standar internasional yang relevan tanpa kewajiban pemenuhan penuh.	5	16,66%	○		○	○	▲	▲	○	○		
Importance Rating		30	100%	150	150	140	64	68	88	86	82	828,00	
Percent of Importance				18,11%	18,11%	16,90%	7,72%	8,21%	10,62%	10,38%	9,90%	100%	
Solusi 1				○	○	○	○	○	○	○	○	4,84	
Solusi 2				○	○	○	○	○	○	▲	○	4,04	
Solusi 3				○	○	○	○	○	○	▲	○	3,26	

Keterangan Simbol:

1. ⊙ = Hubungan Kuat (5)
2. ○ = Hubungan Sedang (3)
3. ▲ = Hubungan Lemah (1)

Kosong = Tidak Berhubungan (0)

Berdasarkan *House of Quality* pada tabel 1.1, dilakukan perhitungan skor untuk setiap solusi dengan mengalikan nilai hubungan (1, 3, atau 5) dengan bobot masing-masing fitur.

Berikut merupakan perhitungan menggunakan *House of Quality* dari ketiga solusi yang ditawarkan:

Perhitungan Fitur Dasar:

1. Solusi 1: $(22,95\% \times 3) + (26,23\% \times 5) + (29,50\% \times 5) + (21,31\% \times 3) = 4,57$
2. Solusi 2: $(22,95\% \times 5) + (26,23\% \times 5) + (29,50\% \times 3) + (21,31\% \times 3) = 3,60$
3. Solusi 3: $(22,95\% \times 3) + (26,23\% \times 5) + (29,50\% \times 3) + (21,31\% \times 3) = 3,98$

Solusi 1 unggul dalam aspek Notification Capability, Computing Performance, dan Computing Method karena pendekatannya yang sederhana dan mudah dipahami oleh pengguna. Sistem *time-based* memungkinkan pengendara

mendapatkan informasi langsung tanpa perlu memahami data teknis yang kompleks. Peringatan yang diberikan bersifat universal dan dapat diterapkan untuk semua jenis pengendara berdasarkan standar ergonomi yang telah ditetapkan. Algoritma berbasis counter sederhana memungkinkan pemrosesan yang ringan dan metode komputasi yang straightforward. kemampuan modul radar dalam mendeteksi objek dengan presisi tinggi, meskipun dalam kondisi lingkungan yang berubah serta radar mempunyai kemampuan yang baik untuk mengukur jarak absolut dan kecepatan relatif objek, yang merupakan data krusial untuk menentukan bahaya. Selain itu, metode komputasi yang digunakan dalam solusi ini dinilai efisien dan mendukung proses deteksi secara *real-time* karena sifat datanya yang sederhana dan menghasilkan metode komputasi yang ringkas dengan kinerja komputasi yang rendah, sehingga sesuai dengan kebutuhan utama sistem untuk memberikan peringatan cepat kepada pengendara sepeda motor

Solusi 2 menunjukkan keunggulan pada aspek Sensing Capability karena kemampuannya dalam menganalisis pola distribusi tekanan secara real-time menggunakan array sensor yang tersebar di jok. Pendekatan adaptive monitoring memungkinkan sistem untuk mendeteksi tanda peringatan dini dari ketidaknyamanan melalui perubahan perilaku duduk pengendara. Namun, kompleksitas analisis data pressure mapping ini memerlukan pemrosesan yang lebih intensif dengan time-window analysis dan noise filtering algorithm, sehingga skor pada aspek Computing Performance dan Computing Method menjadi lebih rendah dibanding Solusi 1. Sensor inframerah mampu mendeteksi keberadaan objek berdasarkan pantulan cahaya IR, namun sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Intensitas sinar matahari, permukaan objek yang gelap, atau jarak lebih dari 1 meter dapat mengurangi akurasi deteksi. Karena itu kemampuan sensornya sedang, tidak sebaik radar dalam mendeteksi jarak pasti. Selanjutnya pada *computing performance*, Pengolahan data IR sederhana (logika digital *on/off*), namun sistem perlu filtrasi sinyal karena *noise* tinggi akibat cahaya luar. Mikrokontroler tetap mampu memproses, tetapi konsumsi daya meningkat sedikit jika harus menstabilkan pembacaan dengan filter digital. Pada aspek *output mechanism/actuator*, Output IR berbentuk logika biner (terdeteksi/tidak), sehingga cocok untuk memberi sinyal LED sederhana. Namun keterlambatan dapat terjadi

jika kondisi cahaya berubah cepat, membuat output perlu waktu stabilisasi. Terakhir pada Aspek metode komputasi karena hanya mendeteksi keberadaan objek tanpa perhitungan jarak atau kecepatan, IR tidak memiliki cukup data untuk metode komputasi kompleks. Sistemnya lebih bersifat reaktif, bukan prediktif. Oleh sebab itu, hubungan metode komputasi dengan solusi ini lemah

Solusi 3 memiliki keseimbangan pada Sensing Capability dengan integrasi accelerometer untuk mendeteksi intensitas getaran dan kamera untuk deteksi blind spot. Meskipun menawarkan pendekatan yang paling komprehensif dengan mengintegrasikan data getaran dan durasi serta kemampuan computer vision, kompleksitas sistem yang tinggi ini berdampak pada beberapa aspek, terutama pada Computing Performance dan Computing Method. Sistem yang memerlukan kalibrasi multi-sensor, perhitungan equivalent riding time, dan algoritma deep learning untuk klasifikasi objek membutuhkan pemrosesan data yang sangat rumit dengan NPU dan pipeline komputasi teroptimasi. Kamera memiliki kemampuan mendeteksi objek dengan sangat detail, tetapi keandalannya tergantung pencahayaan dan cuaca. Di kondisi terang atau hujan, hasil citra bisa terganggu. Selain itu, sudut pandangnya lebar, namun membutuhkan algoritme tambahan untuk memastikan objek berada di area *blind spot*. Pada aspek kebutuhan *computing performance*, Pemrosesan citra memerlukan komputasi tinggi, seperti deteksi tepi (*edge detection*) atau segmentasi objek. Walaupun dapat diimplementasikan dengan mikrokontroler kuat, hal ini meningkatkan konsumsi daya dan waktu pemrosesan, sehingga tidak cocok untuk sistem baterai kecil. Selanjutnya pada aspek *Output Mechanism / Actuator*, kamera menghasilkan data visual yang perlu diolah menjadi sinyal peringatan (LED, buzzer, atau tampilan visual). Proses konversi ini menambah *latency* dan kompleksitas. Jadi hubungan ke output mekanisme dianggap sedang. Terakhir pada metode komputasi, sistem kamera memerlukan metode komputasi berbasis visi komputer. Walaupun mampu menghasilkan informasi detail, tingkat kompleksitasnya tinggi, dan tidak semua metode efisien untuk perangkat *embedded* dengan daya terbatas.

Pada aspek Notification Capability, Solusi 1 memberikan peringatan bertingkat yang jelas dan intuitif berdasarkan interval waktu yang mudah dipahami dan dapat dirasakan langsung oleh pengendara. Solusi 2 dan Solusi 3 memberikan notifikasi

yang lebih kontekstual namun memerlukan interpretasi data yang lebih kompleks dari Solusi 1

Untuk fitur Sensing Capability, Solusi 2 unggul dengan kemampuan mendeteksi perubahan distribusi tekanan secara adaptif dan real-time namun kurang optimal pada sistem pendeteksi objek untuk permasalahan *blindspot*, Solusi ini kurang optimal dibandingkan radar yang lebih dapat diandalkan untuk deteksi objek, jarak dan kecepatan dan stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Solusi 3 menawarkan sensing paling komprehensif dengan kombinasi pressure sensor, accelerometer, dan kamera, namun memerlukan sinkronisasi dan kalibrasi yang lebih rumit. Solusi 1 menggunakan pendekatan sensing yang lebih sederhana namun tetap efektif untuk tujuan binary presence detection dan duration tracking.

Meskipun Solusi 2 dan Solusi 3 menawarkan kemampuan monitoring yang lebih canggih dan data yang lebih kaya, kompleksitas sistem tersebut membawa trade-off signifikan dalam hal kemudahan penggunaan dan implementasi komputasi. Dalam konteks target pengguna seperti driver ojek online, kurir, dan komunitas touring yang membutuhkan solusi praktis dan reliable, kesederhanaan Solusi 1 justru menjadi keunggulan utama.

Pendekatan *time-based monitoring* dan *Kalman Filter* pada Solusi 1 telah terbukti efektif berdasarkan standar ergonomi internasional dan dapat memberikan peringatan yang konsisten untuk mencegah kelelahan berbahaya. Dengan skor tertinggi pada fitur dasar (4,57), Solusi 1 menunjukkan keseimbangan optimal antara efektivitas sensing, kemampuan notifikasi, performa komputasi, dan kesederhanaan metode yang diterapkan.

2. Sistem Terkait Masalah Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan dan Kesehatan Helm dalam Kondisi Lembab atau Basah

Berdasarkan solusi yang ditawarkan pada bagian usulan solusi terkait penyelesaian permasalahan keterbatasan jarak pandang ketika berkendara dalam kondisi hujan serta kondisi helm dalam keadaan lembab atau basah yang akan mempengaruhi masalah kesehatan terkait penyakit dermatofita, maka dirancanglah pemilihan solusi yang akan digunakan untuk mengatasi permasalahan sistem ini menggunakan tabel House of Quality dengan membandingkan parameter

berdasarkan fitur dasar dan fitur tambahan dari sistem ini. Berikut di bawah ini adalah tabel HoQ dari sistem ini:

Tabel 1. 4 HOQ Sistem Terkait Masalah Keterbatasan Jarak Pandang Saat Hujan dan Kesehatan Helm Akibat Kondisi Lembab atau Basah

Konsrain	Fitur House Of Quality											
	Rank of Importance	Percent of Importance	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
			Sensing Capability	Notification/ Output Capability	Computing Performance	Computing Method	Low Power Consumption	Hemat Biaya	Ketahanan Perangkat	Waktu Pengerjaan 6 Bulan		
	Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara	4	20,00%	○	○	○		○	○	○	○	
	Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm	5	25,00%	○	○		○	○	○		○	
	Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan	2	10,00%	○	○	○		△	○	○	○	
	Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm SNI	5	25,00%	○	○	○			○	○		
	Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm	4	20,00%	○	○	○	○	△	△	○	○	
	Importance Rating	20	100%	95	100	67	35	33	60	59	49	498,00
	Percent of Importance			19,08%	20,08%	13,45%	7,03%	6,63%	12,05%	11,85%	9,84%	100%
Solusi 1			○	○	○	△	○	○	○	○	3,64	
Solusi 2			○	○	○	○	○	○	○	○	4,16	
Solusi 3			○	○	○	○	○	○	○	○	3,24	

Keterangan Simbol:

1. ⊙ = Hubungan Kuat (5)
2. ○ = Hubungan Sedang (3)
3. △ = Hubungan Lemah (1)
4. Kosong = Tidak Berhubungan (0)

Berdasarkan tabel *House of Quality* dari sistem terkait masalah keterbatasan jarak pandang saat hujan dan kesehatan helm akibat kondisi helm lembab atau basah, dilakukan perhitungan skor untuk setiap solusi dengan mengalikan nilai hubungan (1, 3, atau 5) dengan bobot masing-masing fitur. Berikut merupakan perhitungan menggunakan *House of Quality* dari ketiga solusi yang ditawarkan:

Perhitungan Fitur Dasar:

1. Solusi 1:

$$(19,08\% \times 5) + (20,08\% \times 5) + (13,45\% \times 3) + (7,03\% \times 1) + (6,63\% \times 3) + (12,05\% \times 3) + (11,85\% \times 3) + (9,84\% \times 3) = 3,64$$

2. Solusi 2:

$$(19,08\% \times 5) + (20,08\% \times 5) + (13,45\% \times 3) + (7,03\% \times 5) + (6,63\% \times 3) + (12,05\% \times 3) + (11,85\% \times 5) + (9,84\% \times 3) = 4,16$$

3. Solusi 3:

$$(19,08\% \times 3) + (20,08\% \times 3) + (13,45\% \times 3) + (7,03\% \times 3) + (6,63\% \times 3) + (12,05\% \times 5) + (11,85\% \times 3) + (9,84\% \times 3) = 3,24$$

Berdasarkan perhitungan dari HoQ dapat terlihat bahwasanya solusi yang memiliki skor tertinggi yaitu solusi dua. Tentunya hal ini setelah penentuan dari masing masing bobot dari keterkaitan fitur dan konstrain. Selain itu juga diberikan nilai *Rank of Important* dari setiap konstrain. Nilai sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara bernilai lima dikarenakan sistem yang dibangun diharapkan tidak memberikan beban tambahan yang berlebihan pada kepala pengguna. Bobot yang ringan akan meningkatkan kenyamanan serta mengurangi risiko kelelahan pada leher saat berkendara. Selanjutnya sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm bernilai lima dikarenakan sistem yang dibangun diharapkan dapat terintegrasi langsung pada satu helm tanpa memerlukan perangkat tambahan di luar. Setelah itu nilai desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan bernilai dua dikarenakan sistem yang dibangun tetap memerlukan proses maintenance seperti pembersihan maupun penggantian komponen. Selanjutnya sistem tidak melanggar standar penggunaan helm bernilai lima dikarenakan sistem yang dibangun harus tetap memenuhi regulasi dan standar keselamatan helm yang berlaku. Terakhir yaitu untuk sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm bernilai empat dikarenakan sistem yang dibangun diharapkan mampu menjaga kebersihan serta kesehatan pengguna.

Selanjutnya analisis dari hubungan setiap keterkaitan fitur dan konstrain akan dianalisa terhadap masing masing hubungan dari HoQ.

1. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan Sensing capability

Berhubungan kuat dikarenakan pemilihan dan penggunaan sensor sangat mempengaruhi berat keseluruhan sistem yang terpasang pada helm.

2. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan Notification/ output capability

Berhubungan kuat dikarenakan komponen notifikasi atau output yang digunakan pada system akan menambah massa yang terpasang pada helm.

3. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan Computing performance
Berhubungan kuat dikarenakan performa komputasi pada sistem ditentukan oleh jenis mikrokontroler atau unit pemroses yang digunakan beserta rangkaian pendukungnya.
4. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan Computing Method
Berhubungan kuat dikarenakan metode komputasi yang cepat dan tepat pada suatu sistem akan memberikan konsumsi daya yang rendah
5. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan low power consumption
Berhubungan sedang dikarenakan konsumsi daya sistem berpengaruh terhadap pemilihan jenis sumber daya dan rangkaian pendukung yang digunakan.
6. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan Hemat biaya
Berhubungan kuat dikarenakan pemilihan komponen dan material yang ringan sangat berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan dalam perancangan sistem.
7. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan ketahanan perangkat
Berhubungan sedang dikarenakan ketahanan perangkat dipengaruhi oleh material serta pelindung komponen yang digunakan pada sistem.
8. Sistem harus ringan agar tidak menambah beban kepala pengendara dengan waktu pengerjaan enam bulan
Berhubungan sedang dikarenakan perancangan sistem yang ringan memerlukan proses optimasi desain dan pemilihan material serta komponen yang sesuai.
9. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan Sensing capability
Berhubungan sedang dikarenakan sensing capability berperan dalam mendukung kinerja sistem pada tiap unit helm dalam mendeteksi kondisi yang dibutuhkan.

10. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan Notification/output capability
Berhubungan kuat dikarenakan notification/output capability memungkinkan setiap unit helm menyampaikan informasi hasil kerja sistem secara mandiri kepada pengguna.
11. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan Computing performance
Tidak berhubungan dikarenakan computing performance tidak mempengaruhi kemampuan sistem dalam bekerja pada tiap unit helm.
12. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan Computing Method
Berhubungan sedang dikarenakan computing method berkaitan dengan metode pengolahan data yang digunakan dalam sistem.
13. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan low power consumption
Berhubungan sedang dikarenakan low power consumption berkaitan dengan penggunaan daya pada tiap unit helm saat sistem beroperasi.
14. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan hemat biaya
Berhubungan sedang dikarenakan penerapan sistem pada masing-masing unit helm memerlukan komponen tambahan yang berdampak pada aspek biaya.
15. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan ketahanan perangkat
Tidak berhubungan dikarenakan ketahanan perangkat berkaitan dengan daya tahan fisik dan lingkungan penggunaan.
16. Sistem bekerja untuk masing-masing dalam satu unit helm dengan waktu pengerjaan enam bulan
Berhubungan sedang dikarenakan penerapan sistem pada masing-masing unit helm memerlukan proses perancangan dan integrasi yang berpengaruh terhadap waktu pengerjaan yang ditetapkan.
17. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan sensing capability

Berhubungan kuat dikarenakan desain yang mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan memungkinkan integrasi sensing capability, sehingga sensor dapat dipasang, diperiksa, atau diganti tanpa mengganggu keseluruhan sistem.

18. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan notification/output capability

Berhubungan kuat dikarenakan desain yang mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan memungkinkan sistem notification/output capability untuk dengan cepat memberikan informasi terkait status perawatan atau komponen yang perlu diperiksa tanpa mengganggu keseluruhan sistem.

19. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan computing performance

Berhubungan kuat dikarenakan desain yang mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan memungkinkan perbaikan pada mikrokontroler dengan cepat sehingga computing performance sistem dapat terjaga secara optimal.

20. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan computing method

Tidak berhubungan karena kemudahan merakit atau membongkar sistem untuk perawatan tidak ada hubungannya dengan computing method, pemrosesan tetap sama meskipun sistemnya gampang dibongkar atau dirakit.

21. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan low power consumption

Berhubungan lemah karena desain yang mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan hanya sedikit memengaruhi efisiensi daya, kemudahan perawatan tidak langsung menentukan seberapa hemat daya yang akan digunakan.

22. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan hemat biaya

Berhubungan sedang karena desain yang mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan membantu mengurangi biaya perawatan.

23. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan ketahanan perangkat

Berhubungan kuat karena desain yang mudah dirakit dan dibongkar memudahkan perawatan rutin, sehingga ketahanan perangkat tetap terjaga.

24. Desain harus mudah dirakit dan dibongkar untuk perawatan dengan Waktu pengerjaan enam bulan
Berhubungan kuat dikarenakan desain yang mudah dirakit dan dibongkar secara langsung mempermudah proses perakitan dan perawatan, sehingga mendukung kelancaran pengerjaan yang ditargetkan dalam enam bulan.
25. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan sensing capability
Berhubungan kuat dikarenakan penerapan sensing capability memungkinkan sistem mendeteksi kondisi atau posisi helm secara akurat, sehingga memastikan penggunaan helm tetap sesuai standar yang ditetapkan.
26. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan notification/output capability
Berhubungan kuat dikarenakan notification/output capability memungkinkan sistem memberikan peringatan atau informasi secara langsung ketika helm digunakan tidak sesuai standar
27. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan computing performance
Berhubungan kuat dikarenakan computing performance yang tinggi memungkinkan sistem memproses data sensor dengan cepat dan akurat, sehingga kepatuhan helm terhadap standar penggunaan dapat dipantau secara real-time.
28. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan computing method
Tidak berhubungan dikarenakan karena standar helm ditentukan oleh sensor, bukan cara perhitungan datanya.
29. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan low power consumption
Tidak berhubungan dikarenakan low power consumption tidak memengaruhi kemampuan sistem untuk memastikan penggunaan helm sesuai standar, karena kepatuhan helm bergantung pada sensor, bukan efisiensi daya.
30. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan hemat biaya
Berhubungan sedang dikarenakan sistem hemat biaya membantu penerapan mekanisme monitoring helm sesuai standar, meskipun kepatuhan tetap bergantung pada sensor.

31. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan ketahanan perangkat
Berhubungan kuat karena ketahanan perangkat menjamin sistem memantau kepatuhan helm secara andal dan terus-menerus.
32. Sistem tidak melanggar standar penggunaan helm dengan Waktu pengerjaan enam bulan
Tidak berhubungan dikarenakan kepatuhan sistem terhadap standar penggunaan helm tidak memengaruhi durasi pengerjaan sistem yang ditetapkan enam bulan.
33. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan sensing capability
Berhubungan kuat dikarenakan sensing capability memungkinkan sistem mendeteksi keberadaan bakteri atau jamur pada helm secara akurat, sehingga proses menonaktifkan dapat dilakukan secara tepat dan efektif.
34. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan notification/output capability
Berhubungan kuat dikarenakan notification/output capability memungkinkan sistem memberikan informasi atau peringatan secara langsung ketika helm perlu dilakukan proses menonaktifkan bakteri atau jamur.
35. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan computing performance
Berhubungan sedang dikarenakan computing performance mempengaruhi kecepatan dan akurasi pemrosesan data untuk menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm
36. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan computing method
Berhubungan kuat dikarenakan metode komputasi yang tepat memungkinkan sistem mengolah data sensor secara akurat, sehingga proses menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dapat dilakukan secara efektif.
37. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan low power consumption
Berhubungan lemah karena konsumsi daya rendah hanya sedikit memengaruhi efektivitas menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm.
38. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan hemat biaya
Berhubungan lemah dikarenakan hemat biaya hanya sedikit memengaruhi efektivitas sistem dalam menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm.

39. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan ketahanan perangkat

Berhubungan sedang dikarenakan ketahanan perangkat mendukung sistem beroperasi secara andal dalam menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm.

40. Sistem menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm dengan waktu pengerjaan enam bulan

Berhubungan sedang dikarenakan proses menonaktifkan bakteri atau jamur pada helm memerlukan perancangan dan pengujian sistem yang bagus, sehingga berpengaruh terhadap kelancaran pengerjaan proyek dalam waktu enam bulan.

Berikut dibawah ini merupakan analisis dari setiap solusi berdasarkan keterkaitan antara fitur dasar dan fitur tambahan:

1. Analisis Solusi 1:

Pada usulan solusi 1 berhubungan kuat dengan sensing capability serta notifikasi/output. Tentunya hal ini dikarenakan pada solusi 1 ini sangat berhubungan dengan penggunaan sensor serta output yang dikeluarkan dari sistem. Dimana dibutuhkan sensor yang dapat membaca inputan secara realtime lalu output yang jelas untuk menyelesaikan masalah pada sistem ini. Selain itu berhubungan sedang dengan computing performance yang menggunakan mikrokontroler untuk melakukan pemrosesan data. Setelah itu berhubungan kurang dengan metode komputasi dikarenakan jika dibandingkan dengan komputasi pada solusi dua dan tiga, solusi satu lemah karena menggunakan aturan yang lebih panjang dan tidak menyelesaikan ambiguitas perintah pada sistem.

2. Analisis Solusi 2:

Pada usulan solusi 2 berhubungan kuat dengan sensing capability serta notifikasi/output. Tentunya hal ini dikarenakan pada solusi 2 juga berhubungan dengan sensor dan output yang jelas. Dimana sensor yang dibutuhkan memiliki kemampuan pembacaan secara real time serta output yang dapat menyelesaikan permasalahan pada sistem ini. Selain itu pada computing performance memiliki hubungan sedang dikarenakan pada bagian ini yang bekerja adalah

mikrokontroler sebagai pemrosesan data. Selanjutnya memiliki hubungan kuat dengan metode komputasi dikarenakan penggunaan metode fuzzy logic yang digunakan pada sistem ini. Dimana sistem fuzzy membantu dalam penentuan perintah yang bersifat ambigu sehingga output yang dikeluarkan akan sesuai dengan yang dibutuhkan oleh lingkungan pada sistem

3. Analisis Solusi 3

Pada usulan solusi 3 ini berhubungan sedang dengan sensing capability dan notifikasi/output. Tentunya hal ini dikarenakan penggunaan sensor yang kurang dibandingkan solusi 1 dan 2 pada penyelesaian masalah keterbatasan jarak pandang saat hujan. Selain itu output yang dihasilkan pada penyelesaian permasalahan kesehatan akibat helm lembab atau basah juga kurang baik dibandingkan solusi 1 dan 2. Selain itu untuk computing performance berhubungan sedang dikarenakan diperlukan mikrokontroler untuk melakukan pemrosesan data pada sistem ini. Selain itu juga berhubungan sedang dengan metode komputasi dikarenakan metode PID dan YOLO merupakan metode yang lebih kompleks dibandingkan solusi sebelumnya.

1.2.4 Solusi yang dipilih

Berdasarkan hasil analisis menggunakan House of Quality dengan menganalisis seluruh hubungan usulan solusi terhadap fitur dasar dan fitur tambahan, diperoleh Solusi 1: Sistem Monitoring Blindspot dan Kelelahan Otot Menggunakan Sensor Radar, Pressure Sensor dan Timer Duration yang memperoleh nilai tertinggi dengan skor fitur dasar sebesar 4,57. Solusi ini menerapkan pendekatan time-based monitoring dengan sensor FSR sebagai binary presence detector yang memproses data durasi berkendara secara real-time melalui mikrokontroler, serta dilengkapi dengan sistem deteksi blind spot menggunakan sensor radar dengan sistem kontrol cerdas.

Sistem monitoring kelelahan otot bekerja dengan memasang beberapa sensor tekanan pada jok sepeda motor untuk mengonfirmasi kehadiran pengendara dan secara otomatis memulai timer durasi berkendara. Mikrokontroler menjalankan algoritma sederhana berbasis counter yang menghitung waktu secara kontinu

selama pengendara terdeteksi berada di motor. Sistem dilengkapi mekanisme peringatan bertingkat yang memberikan notifikasi pada interval waktu yang telah ditentukan berdasarkan standar ergonomi, memungkinkan pengendara mendapatkan early warning sebelum mencapai tingkat kelelahan berbahaya.

Selain pemantauan kondisi pengendara, sistem ini juga dilengkapi dengan sistem deteksi blind spot menggunakan sensor radar yang memancarkan gelombang elektromagnetik ke lingkungan sekitar dan menerima sinyal pantulan dari objek yang terdeteksi. Sistem menerapkan pendekatan estimasi berbasis prediksi untuk menghasilkan estimasi posisi dan kecepatan objek yang stabil, serta mengklasifikasikan tingkat risiko ke dalam beberapa kategori seperti rendah, sedang, dan tinggi. Pendekatan berbasis radar ini efektif karena tidak bergantung pada pencitraan visual yang sensitif terhadap kondisi cahaya, sehingga mampu bekerja secara konsisten pada kondisi pencahayaan rendah maupun cuaca kurang mendukung.

Dengan kombinasi kesederhanaan sistem, konsumsi daya rendah, kemudahan implementasi, dan integrasi pemantauan kondisi pengendara dengan pemantauan lingkungan sekitar kendaraan, Solusi 1 mampu memberikan keseimbangan optimal antara efektivitas monitoring, efisiensi biaya, praktikalitas penggunaan, serta keandalan dalam berbagai kondisi operasional. Hal ini menjadikannya solusi paling tepat untuk meningkatkan kesadaran dan keselamatan pengendara sepeda motor, khususnya driver ojek online, kurir logistik, dan komunitas touring yang membutuhkan solusi praktis dan reliable dalam perjalanan jarak jauh maupun aktivitas harian.

Selanjutnya berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan metode *House of Quality* (HoQ) dengan mempertimbangkan keterkaitan antara fitur dasar dan fitur tambahan terhadap beberapa alternatif solusi yang diajukan, diperoleh bahwa solusi untuk sistem kedua berupa integrasi Sistem Wiper Helm Otomatis Berbasis Sensor Hujan dan LDR serta Menggunakan Fan Heater dan Sinar UV-C Berbasis Metode Fuzzy Logic merupakan solusi terbaik. Solusi ini menggabungkan keunggulan dari sistem peningkatan visibilitas saat hujan dan sistem pengering serta sterilisasi helm, sehingga mampu menjawab dua permasalahan utama secara bersamaan, yaitu menurunnya jarak pandang

pengendara saat hujan serta risiko pertumbuhan bakteri atau jamur dermatofita pada helm lembab atau basah.

Sistem ini dirancang untuk membantu pengendara sepeda motor menjaga visibilitas selama berkendara pada kondisi hujan melalui pengoperasian wiper helm secara otomatis, sekaligus menjaga kebersihan dan kesehatan helm setelah digunakan melalui proses pengeringan dan sterilisasi. Pada subsistem wiper, digunakan sensor hujan untuk mendeteksi keberadaan dan intensitas tetesan air pada permukaan visor helm, serta sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya di lingkungan sekitar pengendara. Kombinasi kedua sensor ini menghasilkan informasi kondisi lingkungan yang lebih akurat, sehingga sistem mampu membedakan kondisi hujan ringan, hujan lebat, maupun kondisi gelap seperti pada malam hari.

Pada subsistem pengering dan sterilisasi, sistem memanfaatkan fan heater sebagai penghasil sirkulasi udara panas untuk mempercepat proses pengeringan helm, serta sinar UV-C pada panjang gelombang 100–280 nm untuk melakukan sterilisasi. Fan heater memungkinkan pengeringan berlangsung secara merata dan lebih efisien dibandingkan metode pemanas pasif, sedangkan sinar UV-C berfungsi membunuh mikroorganisme seperti bakteri *Staphylococcus aureus* dan jamur dermatofita tanpa merusak material helm. Seluruh proses ini dilakukan secara eksternal sehingga tidak melanggar aturan hukum terkait modifikasi struktur helm.

Pengolahan data dari seluruh sensor dilakukan menggunakan metode *fuzzy logic*. Pada sistem wiper, logika fuzzy memungkinkan penentuan kecepatan gerak wiper secara fleksibel berdasarkan tingkat intensitas hujan dan pencahayaan, misalnya wiper bergerak lambat saat hujan ringan dan meningkat kecepatannya saat hujan lebat. Pada sistem pengering dan sterilisasi, metode fuzzy logic digunakan untuk menyesuaikan suhu fan heater dan durasi penyinaran UV-C berdasarkan tingkat kelembapan helm, sehingga sistem mampu bekerja secara adaptif, menghindari konsumsi energi berlebih, serta menjaga keamanan operasional alat.

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali utama yang memproses seluruh input sensor melalui algoritma fuzzy logic dan mengatur kinerja wiper, fan heater, serta sinar UV-C secara terintegrasi. Seluruh data dan status kerja sistem ditampilkan pada sebuah *dashboard* sebagai antarmuka pemantauan, sehingga

pengguna dapat mengetahui kondisi lingkungan, kelembapan helm, status sterilisasi, serta performa sistem secara real-time.

Berdasarkan hasil perhitungan *House of Quality*, solusi terintegrasi ini memperoleh skor tertinggi dibandingkan alternatif lain karena memiliki keseimbangan terbaik antara kemampuan sensing, komputasi, dan output, serta tetap mempertahankan desain yang ringkas, hemat daya, biaya pengembangan yang rasional, dan waktu pengerjaan yang relatif singkat. Selain itu, penggunaan metode fuzzy logic menjadikan sistem lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan dan variasi tingkat kelembapan helm. Dengan mempertimbangkan seluruh keunggulan tersebut, maka Sistem Wiper Helm Otomatis Berbasis Sensor Hujan dan LDR serta Menggunakan Fan Heater dan Sinar UV-C Berbasis Metode Fuzzy Logic dipilih sebagai solusi terbaik. Solusi ini diharapkan mampu meningkatkan keselamatan berkendara saat hujan, menjaga kebersihan dan kesehatan helm, serta memberikan manfaat nyata bagi pengendara sepeda motor sebagai stakeholder utama.

