

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Masa prasekolah hingga awal SD merupakan masa terpenting bagi anak-anak untuk mengembangkan kemampuan kognitif mereka karena anak-anak dengan usia 5-7 tahun yang berada dalam masa tersebut sedang berada dalam masa emas untuk mengembangkan kemampuan kognitif mereka [1]. Menurut [1] fungsi eksekutif merupakan salah satu fungsi yang berperan dalam masa *golden age*. Fungsi kognitif seperti aspek fleksibilitas berpikir, pengendalian diri, dan *working memory* merupakan bagian dari kemampuan kognitif yang dapat menyokong anak untuk melakukan perencanaan, membuat keputusan, dan mengendalikan diri. Kemampuan kognitif yang bagus pada anak sejak usia dini terutama dari masa prasekolah hingga awal SD memberikan persiapan yang kuat bagi mereka untuk belajar dan memproses informasi baru. Dalam [2] disebutkan bahwa rata-rata skor kemampuan kognitif anak di Indonesia adalah sekitar 397 yang merupakan masih di bawah rata-rata skor dunia, yang mencapai angka 500. Berdasarkan fakta tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan kognitif dirasa perlu untuk dilakukan bagi anak-anak di Indonesia.

Kemampuan kognitif dapat dikembangkan dan dilatih dengan pembelajaran baca dan hitung sederhana yang sesuai dengan umur anak prasekolah hingga awal SD. Namun, perkembangan kemampuan kognitif pada anak dapat menjadi kurang maksimal dikarenakan kurangnya minat sehingga membuat mereka tidak fokus untuk belajar mengembangkan kemampuan kognitif mereka. Anak-anak pada tahap perkembangan tertentu mungkin mengalami keterbatasan dalam rentang perhatian mereka, sehingga mereka cenderung lebih mudah teralihkan [3]. Padahal, konsentrasi atau perhatian terfokus merupakan aspek kognitif yang penting dalam proses belajar anak. Melatih fokus anak sejak usia dini terutama pada masa emas anak sangat penting dikarenakan fokus yang baik akan menghasilkan konsentrasi yang baik pada anak yang akan membantu anak dalam belajar lebih efektif, mengingat informasi dengan lebih baik, berpikir logis, serta mengembangkan kemampuan sosial dan keterampilan organisasi

diri [4]. Selain itu, pentingnya mengembangkan kemampuan kognitif di usia dini seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa kemampuan kognitif yang baik akan memberikan persiapan yang kuat bagi anak-anak untuk belajar dan menerima informasi juga menjadi alasan mengapa melatih fokus pada anak terutama selama masa pengembangan kognitif dikatakan penting.

Salah satu penyebab tidak fokusnya anak terhadap proses pengembangan kemampuan kognitif mereka adalah dikarenakan metode pengembangan kognitif yang dilatih dengan baca dan hitung masih menggunakan metode konvensional, seperti menggunakan papan tulis sebagai media menjelaskan atau hanya sekedar mendengarkan penjelasan [5]. Tidak adanya media yang interaktif, seperti melibatkan anak secara langsung dengan benda nyata untuk menstimulasi mereka membuat proses belajar terasa bosan, monoton, dan pasif sehingga membuat anak kesulitan untuk fokus selama prosesnya [6][7].

Namun, sebelum melatih fokus anak tentu perlu diketahui bagaimana indikasi fokus terhadap anak. Apakah anak sering atau mudah terdistraksi sehingga seringkali untuk tidak fokus selama proses pembelajaran atau indikasi lainnya. Metode yang biasanya dilakukan untuk mengakses atau menilai fokus pada anak-anak adalah observasi perilaku anak-anak, pengisian kuesioner anak-anak, pengisian kuesioner, dan latihan yang dirancang untuk mengukur konsentrasi anak. Metode-metode tersebut biasanya digunakan oleh orang tua, guru, atau psikolog anak. Salah satu contohnya adalah dalam [8] bahwa untuk menentukan apakah anak fokus atau tidak melalui observasi yang dilakukan oleh guru serta melalui wawancara.

Metode-metode seperti observasi perilaku dan pengisian kuesioner untuk mengakses atau menilai fokus anak dinilai lebih subjektif karena adanya ketergantungan interpretasi manusia sebagai subjek yang dinilai fokusnya dibandingkan menggunakan teknologi yang lebih objektif. Hal tersebut diperkuat dengan adanya penelitian yang dibahas dalam [9] dan [10] yang membahas perbandingan antara menggunakan metode konvensional seperti observasi perilaku dengan menggunakan teknologi seperti *eye-tracking* yang merupakan metode objektif untuk mempelajari perhatian, persepsi, dan

proses kognitif sejak bayi hingga usia sekolah serta membahas bahwa metode seperti observasi dan kuesioner sulit diterapkan untuk anak usia dini dari umur 3-8 tahun. Melalui pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa mengakses fokus pada anak lebih optimal dan objektif dengan menggunakan teknologi daripada menggunakan metode konvensional.

Permasalahan tersebut melibatkan beberapa *stakeholder*, yakni sebagai berikut.

1. Anak-anak dengan usia 5-7 tahun (masa prasekolah hingga awal SD) yang kesulitan fokus selama proses belajar untuk mengembangkan kemampuan kognitif mereka.
2. Orang Tua sebagai wali dari anak-anak yang belum tahu bagaimana cara mengubah metode mereka selama ini untuk membantu anaknya fokus dalam proses belajar serta metode akses fokus anak yang selama ini hanya menggunakan metode konvensional terkesan kurang objektif.
3. Guru sebagai pendidik yang mengevaluasi dan memantau hasil pembelajaran selama anak di sekolah.

Dengan terselesaikannya permasalahan tersebut maka akan ada dampak yang dirasakan oleh pihak yang terlibat. Bagi anak, tingkat fokus yang lebih baik akan membuat proses belajar dalam pengembangan kemampuan kognitifnya menjadi lebih optimal, meningkatkan prestasi akademik, serta menumbuhkan motivasi dan rasa percaya diri dalam belajar. Anak juga memiliki bekal dan persiapan yang baik untuk memasuki jenjang pendidikan yang lebih tinggi. Bagi orang tua, adanya solusi dari permasalahan ini akan membantu orang tua untuk memantau fokus anak dengan lebih terukur sehingga tidak hanya bergantung pada pengamatan langsung. Serta guru sebagai pendidik di sekolah dapat melihat dan mengevaluasi perubahan yang lebih baik pada anak didiknya dalam minat dan fokus belajar. Dalam menyelesaikan permasalahan tersebut, harapannya akan ada solusi yang mampu melatih fokus anak dalam proses pengembangan kognitif mereka serta adanya metode dalam mengakses fokus anak yang lebih terukur dan objektif selama proses pelatihan fokusnya sehingga hasil untuk *report* kepada orang tua lebih terukur.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Permasalahan yang dikenalkan pada bagian sebelumnya mencakup dua bagian aspek utama, yaitu kurangnya fokus anak selama proses pengembangan kognitif mereka yang sebaiknya perlu dilatih dan dimonitor secara terukur untuk melihat adanya perkembangan yang lebih baik. Dua bagian aspek utama yang perlu diperhatikan adalah melatih fokus anak yang berkaitan dengan perkembangan kognitif mereka serta memonitor fokus anak dengan mengakses fokus pada anak melalui beberapa parameter serta memanfaatkan teknologi untuk pengukuran yang objektif.

Dalam melatih fokus anak, perlu diperhatikan bagaimana perkembangan berpikir serta kognitif pada anak usia 5-7 tahun. Perkembangan kognitif seperti apa yang perlu dikembangkan serta bagaimana batasannya untuk anak usia 5-7 tahun. Perkembangan kognitif anak yang dapat secara maksimal dilakukan ketika fokus anak dalam kondisi yang baik perlu diperhatikan pula bobotnya sesuai dengan umur anak. Hal ini dikarenakan adanya beban kognitif pada usia anak tertentu yang menyatakan bahwa otak anak memiliki kapasitas terbatas untuk memproses informasi sehingga bobot pembelajaran yang berat akan membuat anak kewalahan dan memicu kehilangan fokus [3][11]. Kemudian, melatih fokus anak dapat dilakukan dengan metode pembelajaran berbasis permainan yang menggunakan teknologi daripada menggunakan metode konvensional, seperti membaca teks di buku atau sekedar mendengarkan penjelasan dari orang tua dan guru. Metode pembelajaran berbasis permainan dapat memberikan ruang bagi anak untuk belajar secara aktif dan melalui interaksi langsung yang diharapkan dapat secara optimal melatih fokus anak [12].

Lebih lanjut pada aspek yang kedua, yaitu mengakses fokus pada anak dengan menggunakan teknologi memiliki beberapa parameter yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur fokus pada anak secara objektif. Beberapa hal yang dapat diukur atau diakses untuk menilai fokus anak adalah melalui durasi fokus anak selama pembelajaran atau kegiatan melatih fokus, melalui ekspresi wajah [13], melalui arah pandangan mata dan gerakan kepala [9].

Berdasarkan penjabaran tersebut, perlu dijelaskan lebih lanjut mengenai perkembangan berpikir kognitif pada anak yang memiliki hubungan dengan pemicu tidak fokusnya

anak, metode pembelajaran berbasis permainan yang berkaitan dengan cara atau aplikasi untuk melatih fokus anak, serta parameter apa saja yang dapat diakses untuk memonitor fokus pada anak.

1.1.1.1 Perkembangan Berpikir dan Teori Kognitif

Kemampuan kognitif merupakan seluruh proses mental yang digunakan oleh otak dalam menerima, mengolah, menyimpan, dan menggunakan informasi untuk berpikir, belajar, mengingat, dan memecahkan masalah. Dalam psikologi, kemampuan kognitif mencakup kegiatan seperti mempersepsi, memahami, mengingat, bernalar, dan membuat keputusan. Menurut Teori Kognitif yang dikemukakan oleh Piaget, manusia mengalami perkembangan berpikir melalui empat periode yang dimulai dari tahapan yang konkret hingga tahapan yang lebih abstrak. Berikut adalah tahap-tahap perkembangan kognitif jika dihubungkan dengan teori kognitif menurut Piaget pada anak [14].

1. Periode Sensor Motorik

Periode ini berada pada anak usia dengan rentang antara 0 - 2 tahun. Periode ini merupakan periode fundamental bagi anak untuk mulai berlatih berpikir dalam memecahkan masalah. Pada fase ini, anak menggunakan indra tubuhnya untuk mengamati dan memahami lingkungan di sekitarnya.

2. Periode Pra-Operasional

Periode ini berada pada anak usia dengan rentang umur 2 - 7 tahun. Pada periode ini, anak belum menggunakan penalaran logis dalam mengambil keputusan. Anak pada periode ini cenderung mengambil keputusan berdasarkan hal-hal yang dapat diamati secara langsung. Periode ini juga periode anak untuk mengenal bilangan, huruf, menghitung, serta menghubungkan angka dengan benda konkret.

3. Periode Operasi Konkret

Periode ini terjadi ketika anak berusia dalam rentang 7 - 11 tahun. Pada periode ini anak mulai mampu memahami hubungan-hubungan berdasarkan pada pengalaman konkret

yang mereka alami sebelumnya. Pada periode ini anak mampu memahami operasi hitung dasar seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian.

4. Periode Operasional Formal

Periode ini berada pada anak usia 11 tahun ke atas. Pada periode ini, anak mengalami perkembangan signifikan dalam kemampuan berpikir abstrak dan bernalar logis. Anak pada periode ini sudah mampu berpikir secara kombinatorik yang artinya mereka dapat mengidentifikasi dan menggabungkan faktor-faktor yang terlibat dalam suatu masalah untuk mencapai solusi yang tepat. Di tahap ini anak mulai menguasai konsep matematika yang lebih abstrak seperti aljabar, geometri, dan statistik.

1.1.1.2 Pembelajaran Berbasis Permainan (*Game-Based Learning*)

Pembelajaran berbasis permainan merupakan suatu metode pembelajaran yang menghubungkan atau mengintegrasikan pembelajaran ke elemen permainan untuk meningkatkan keterlibatan anak. Metode ini dirancang agar proses belajar terasa menyenangkan dan interaktif. Pembelajaran berbasis permainan berperan dalam mendukung perkembangan kognitif anak usia dini, khususnya pada aspek pemecahan masalah (*problem solving*), memori atau daya ingat, dan atensi/perhatian [15].

Beberapa pembelajaran berbasis permainan yang biasanya dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Puzzle

Anak menyusun potongan gambar menjadi utuh untuk melatih kemampuan memecahkan masalah, koordinasi visual-motorik, dan daya ingat. Pengulangan aktivitas ini dapat meningkatkan memori jangka panjang serta ketelitian anak. Manfaatnya Meningkatkan konsentrasi, mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, melatih koordinasi mata dan tangan. [16]

2. Berhitung Cepat

Permainan berhitung cepat seperti *flashcards* atau aplikasi edukasi yang menantang anak-anak untuk menyelesaikan soal-soal matematika dengan cepat dapat melatih fokus dan kecepatan berpikir mereka. Manfaatnya meningkatkan

keterampilan matematika, melatih kecepatan berpikir, mengembangkan ketelitian.

3. Menyusun kata (*scrabble*)

Scrabble adalah permainan papan kata di mana pemain menyusun balok huruf untuk membentuk kata pada papan, mirip dengan teka-teki silang. Manfaat: Meningkatkan kosakata, mengasah keterampilan mengeja, mengembangkan kemampuan strategis.

Pembelajaran berbasis permainan saat ini sudah cukup banyak diterapkan terutama pada aplikasi-aplikasi bermain sambil belajar pada aplikasi *mobile*. Dalam [3] disebutkan bahwa penggunaan media digital yang berlebihan menjadi salah satu faktor signifikan yang memengaruhi kemampuan fokus seorang anak. Pola konsumsi media digital yang terlalu intensif berpotensi mengubah cara anak memproses informasi sehingga rentang perhatian mereka menjadi pendek. Berdasarkan fakta tersebut, maka sebaiknya dikembangkan sistem pembelajaran berbasis permainan yang memanfaatkan teknologi tanpa meningkatkan konsumsi media digital untuk mendukung terjaganya fokus anak selama proses belajar.

Beberapa sistem pembelajaran berbasis permainan yang sudah banyak tersedia adalah aplikasi *mobile* untuk pembelajaran interaktif yang sudah banyak tersedia di Play Store. Aplikasi *mobile* memang menampilkan animasi yang menarik, tetapi di satu sisi aplikasi tersebut dapat meningkatkan masa *screen time* anak. Padahal, terlalu banyak mengonsumsi media digital dapat mengganggu fokus anak selama masa belajar.

Selain aplikasi *mobile* salah satu teknologi lain yang sudah ada saat ini adalah papan interaktif digital yang biasanya dipasang di ruang kelas di sekolah [17]. Papan interaktif digital ini memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan layar papan yang dapat disentuh dan atau menggunakan pena digital untuk belajar sambil bermain. Namun, penggunaan papan interaktif digital ini masih belum interaktif dengan dunia nyata karena tidak ada keterlibatan langsung antara siswa dengan lingkungannya secara fisik.

Kurangnya variasi aktivitas karena hanya menatap layar dan menyentuhnya berpotensi terjadinya kejenuhan pada siswa, sehingga anak merasa kurang minat dan tidak fokus.

Dalam mendukung pembelajaran baca dan hitung sambil bermain, anak prasekolah hingga awal SD atau anak yang berusia 5-7 tahun setidaknya mengenali huruf dan angka dasar dalam matematika.

Tabel 1. 1 Huruf-huruf dalam Membaca

Huruf	
A	N
B	O
C	P
D	Q
E	R
F	S
G	T
H	U
I	V
J	W
K	X

L	Y
M	Z

Huruf-huruf tersebut menjadi dasar dalam pembelajaran membaca. Anak dengan usia 5-7 tahun sesuai dengan teori Piaget sudah dapat mengenali huruf. Huruf-huruf tersebut akan digunakan untuk menjadi bahan pembelajaran membaca berbasis permainan.

Tabel 1. 2 Angka dalam Matematika

Angka	Bilangan
0	Nol
1	Satu
2	Dua
3	Tiga
4	Empat
5	Lima
6	Enam
7	Tujuh
8	Delapan
9	Sembilan

Angka atau bilangan dalam pembelajaran sekolah dasar dapat divariasikan persoalan kasusnya untuk membantu siswa lebih terbiasa dalam penyelesaian masalah melalui proses berpikir. Operasi perhitungan matematis juga tidak lepas dari angka dan bilangan sebagai suatu objek yang akan dihitung.

1.1.1.3 Durasi Maksimal Fokus Belajar pada Anak

Anak usia dini dan awal sekolah dasar berusia 5 sampai 7 tahun masih dalam proses perkembangan kognitif, terutama dalam kemampuan mempertahankan fokus atau perhatian saat belajar. Pada usia ini, anak mulai terlibat dalam kegiatan pembelajaran yang membutuhkan pemrosesan kognitif, seperti matematika sederhana dan literasi awal, termasuk mengenali huruf, menyusun kata, serta memahami konsep angka dasar.

Namun, kemampuan fokus belajar anak pada usia tersebut belum sepenuhnya matang, sehingga mereka mudah terdistraksi dan kesulitan mempertahankan perhatian dalam waktu yang lama. Pada umumnya anak usia dini sering mengalami kesulitan berkonsentrasi dan mudah beralih ke stimulus lain di sekitarnya, yang berkaitan dengan perkembangan fungsi eksekutif yang belum optimal. [18]

Rentang waktu fokus belajar efektif anak usia 5–7 tahun umumnya berada pada kisaran 10–20 menit per sesi, tergantung pada jenis aktivitas yang dilakukan. Aktivitas yang menuntut pemikiran logis, seperti matematika dasar, maupun literasi awal yang melibatkan pengolahan simbol membutuhkan tingkat konsentrasi yang lebih tinggi, sehingga anak cenderung lebih cepat kehilangan fokus apabila aktivitas berlangsung terlalu lama. Panduan perkembangan perhatian anak menyebutkan bahwa setelah melewati durasi fokus optimal tersebut, anak akan lebih mudah berpindah ke aktivitas lain, terutama ketika pembelajaran kurang menarik atau bersifat monoton. Kondisi ini menunjukkan bahwa durasi belajar yang tidak disesuaikan dengan kapasitas fokus anak dapat mengurangi efektivitas proses pembelajaran.[19]

Selain faktor perkembangan kognitif, lingkungan belajar juga berpengaruh besar terhadap fokus belajar anak. Anak usia 5–7 tahun sangat peka terhadap rangsangan eksternal, seperti suara, gerakan, mainan, gawai, maupun aktivitas lain di sekitarnya. Rendahnya fokus belajar anak usia dini dipengaruhi oleh kombinasi faktor internal, seperti minat dan motivasi belajar, serta faktor eksternal, seperti lingkungan belajar yang kurang kondusif dan banyaknya gangguan. Akibatnya, anak sering meninggalkan aktivitas belajar sebelum tugas selesai, meskipun waktu belajar yang dialokasikan belum dimanfaatkan secara optimal.[20]

1.1.1.4 Karakteristik Parameter Fokus Anak

Pada anak usia 5-7 tahun, kemampuan fokus dapat dilihat dari perilaku khusus pada wajah dan postur tubuh mereka. Ciri-ciri perilaku ini sudah banyak dibahas dalam penelitian psikologi anak dan dibuktikan melalui pengamatan langsung. Perilaku tersebut menunjukkan bagaimana fungsi berpikir otak anak yang masih berkembang

berinteraksi dengan gerakan tubuh dan respons terhadap lingkungan belajar sekitarnya [21].

1.1.1.4.1 Karakteristik Ekspresi Wajah

Beberapa studi tentang *engagement* dan perhatian siswa menunjukkan bahwa perilaku wajah merupakan indikator non-verbal penting untuk mengestimasi tingkat keterlibatan kognitif selama pembelajaran. Penelitian di kelas dan lingkungan belajar daring menemukan bahwa kombinasi arah tatapan, orientasi kepala, dan ekspresi wajah berhubungan dengan variasi *engagement* dan *mindwandering* [13].

1. Ekspresi Mulut

Analisis *facial-expression-based engagement* menemukan bahwa pola ekspresi di area mulut berkorelasi dengan keadaan *on-task* dan *off-task*. . Ketika siswa terlibat pada tugas, ekspresi yang muncul cenderung berupa mulut yang relatif tenang (tidak banyak bicara sendiri, tidak sering menguap, tidak tertawa berlebihan) atau ekspresi positif ringan seperti senyum kecil yang muncul ketika memahami materi. Sebaliknya, peningkatan perilaku mulut yang tidak relevan dengan tugas adalah banyak berbicara dengan teman, tertawa sosial, atau sering menguap, lebih sering muncul bersamaan dengan menurunnya perhatian dan *mind-wandering*. [22]

2. Ketegangan Mimik dan Upaya Kognitif

Kajian tentang *engagement* dari perilaku wajah menunjukkan bahwa ekspresi “serius-berkonsentrasi” juga terkait dengan situasi ketika siswa sedang melakukan upaya kognitif yang lebih tinggi. Ekspresi ini biasanya tampak sebagai ketegangan ringan di area dahi dan alis tanpa menunjukkan kemarahan, sedangkan otot wajah bagian bawah relatif stabil. Wajah yang terlalu datar dan pasif dalam durasi panjang, atau sebaliknya sangat ekspresif untuk interaksi sosial yang tidak terkait tugas, dikaitkan dengan keterlibatan yang lebih rendah. [23]

3. Dinamika Perubahan Ekspresi Selama Aktivitas Belajar

Penelitian yang menggunakan pengenalan ekspresi wajah untuk menilai *engagement* menemukan bahwa perubahan ekspresi seiring tahapan aktivitas belajar penting untuk

memahami fokus siswa. Misalnya, siswa cenderung menunjukkan ekspresi serius saat menerima penjelasan atau memecahkan soal, lalu beralih ke ekspresi positif (senyum) ketika berhasil menyelesaikan tugas atau memahami konsep. Pola ini berbeda dengan siswa yang lebih banyak memperlihatkan wajah kosong, kemudian sering mengalihkan pandangan sambil tersenyum atau tertawa pada hal di luar tugas, yang lebih dekat dengan kondisi *offtask*. [23]

1.1.1.4.2 Karakteristik Gerakan Kepala dan Arah Pandangan Anak

Dalam jurnal yang berjudul “Student’s Engagement Detection Based on Computer Vision: A Systematic Literature Review” dalam ulasan ini peneliti mengambil beberapa jurnal yang melibatkan bagaimana hubungan faktor emosi dengan faktor wajah, gerakan kepala, dan arah pandangan menggunakan *computer vision* dan pengaruhnya dalam proses belajar siswa. Hasilnya yaitu dari beberapa jurnal yang sudah di *review* faktor gerakan kepala dan arah pandangan merupakan faktor yang berpengaruh dalam melihat interaksi belajar siswa. Saat siswa sedang belajar dan terus memerhatikan pelajaran merupakan indikasi kalau siswa tersebut fokus atau berinteraksi dengan pembelajaran saat ini. Gerakan kepala seperti memalingkan kepala dan memiringkan kepala menjadi indikator bahwa siswa tidak memerhatikan saat belajar.[24]

1.1.1.5 Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Kurangnya Fokus pada Anak

Faktor-faktor ini dibagi menjadi 3 kategori utama, yaitu neuropsikologis, lingkungan serta kesehatan, dan emosional.

1. Faktor Neuropsikologis dan Perkembangan Otak

Anak-anak usia 5 – 7 tahun sering mengalami kesulitan fokus karena jaringan perhatian di otak belum sepenuhnya matang. Menyebabkan mereka kehilangan konsentrasi setelah 10 – 15 menit aktivitas [1][25]. Selain itu, perkembangan korteks prefrontal, bagian otak yang mengatur pengendalian diri dan fokus, masih dalam tahap awal pada usia 5 –7 tahun, membuat anak rentan terhadap gangguan eksternal [26].

2. Faktor Lingkungan, Gizi, dan Kesehatan

Paparan media digital yang intens, seperti video pendek dan aplikasi dengan transisi cepat, dapat mengganggu mekanisme perhatian anak dengan menyebabkan kelelahan kognitif [27]. Selain itu, kondisi kesehatan fisik seperti kurang sarapan atau pola makan

buruk berkaitan dengan penurunan konsentrasi, karena nutrisi esensial seperti zat besi dan omega-3 penting untuk fungsi otak [28]. Kualitas lingkungan, termasuk paparan polusi udara (seperti PM2.5), juga berkontribusi pada penurunan fokus pada anak, karena memengaruhi perkembangan sistem saraf [29].

3. Faktor Emosional dan Stimulasi

Kekurangan stimulasi emosional dan sosial sejak usia pra-sekolah (4–6 tahun) dapat membentuk dasar regulasi diri yang lemah, meningkatkan risiko distraksi di tahap selanjutnya [29].

1.1.1.6 Solusi yang Sudah Ada

Beberapa solusi yang sudah dikembangkan dalam monitoring fokus sebagai berikut.

1. *Webcam-based eye tracking to detect mind wandering and comprehension errors*

Sebuah penelitian mengusulkan sistem yang memanfaatkan WebGazer, sebuah perangkat lunak yang dapat melacak arah tatapan mata hanya dengan menggunakan kamera bawaan laptop. Sistem ini kemudian mengolah data tatapan untuk mendeteksi kondisi mind wandering (pikiran melayang) dan kesalahan pemahaman bacaan. Dengan bantuan algoritma machine learning seperti Support Vector Machine (SVM), Random Forest, dan XGBoost, penelitian tersebut menunjukkan bahwa prediksi terhadap tingkat pemahaman bacaan dapat dicapai dengan akurasi yang cukup baik (nilai kappa $\approx 0,57$), meskipun deteksi task-unrelated thought (TUT) masih relatif rendah (kappa $\approx 0,15$). Kelebihan dari solusi ini, antara lain biaya rendah karena tidak memerlukan perangkat keras khusus, aksesibilitas tinggi karena dapat dijalankan pada laptop biasa, serta berpotensi memberikan umpan balik real-time yang membantu anak segera menyadari ketika mereka kehilangan fokus. Namun demikian, terdapat pula sejumlah keterbatasan, seperti akurasi yang lebih rendah dibandingkan perangkat eye-tracker profesional, sensitivitas terhadap kondisi pencahayaan dan penggunaan kacamata, serta isu privasi yang perlu diperhatikan mengingat sistem ini memanfaatkan kamera secara terus-menerus [30].

2. Penggunaan Wearable Device Berupa Gelang Pintar

Pada sebuah studi terbuka menunjukkan bahwa perangkat wearable yang dilengkapi dengan fitur self-monitoring dan reinforcement dapat membantu anak dengan kesulitan perhatian (ADHD) untuk meningkatkan perilaku on-task, fungsi eksekutif, dan hasil akademik. Wearable ini bekerja dengan memantau aktivitas anak dan memberikan pengingat berupa getaran ketika konsentrasi menurun, sehingga mendorong regulasi diri yang lebih baik. Kelebihan pendekatan ini adalah sifatnya yang non-intrusif, mudah digunakan, dan dapat langsung memberikan umpan balik kepada anak maupun laporan untuk guru/orang tua. Namun, kekurangannya terletak pada biaya perangkat, kebutuhan validasi lebih lanjut dalam jangka panjang, serta risiko ketergantungan anak pada pengingat eksternal [31].

3. *Smart Desks to Promote Comfort, Health, and Productivity in Offices*

Meja pintar dilengkapi dengan berbagai sensor lingkungan seperti sensor cahaya, suhu, kelembapan, kualitas udara, serta sensor untuk memantau postur dan aktivitas pengguna. Data dari sensor ini dianalisis menggunakan algoritma machine learning untuk mengenali pola preferensi pengguna, kemudian meja dapat melakukan penyesuaian otomatis seperti mengatur intensitas lampu, menyesuaikan ventilasi, atau memberikan pengingat untuk mengubah postur.

Kelebihan solusi ini adalah sifatnya yang komprehensif karena tidak hanya menargetkan perilaku anak, tetapi juga memperhatikan lingkungan belajar sebagai faktor penting dalam menjaga konsentrasi. Sistem ini juga proaktif, mampu memberikan intervensi otomatis yang mendukung fokus belajar sekaligus kesehatan fisik. Namun, kekurangannya adalah biaya implementasi relatif tinggi, integrasi perangkat keras yang lebih kompleks, serta adanya tantangan dalam pemeliharaan dan keamanan data [32].

1.1.2 Analisis Masalah dan Konstrain

Dalam mengembangkan suatu solusi untuk menyelesaikan permasalahan, perlu dilakukannya analisis masalah dan konstrain yang berkaitan agar menghasilkan solusi yang sesuai dengan karakteristik pengguna dan menyelesaikan permasalahan. Anak-anak usia 5-7 tahun memiliki ketentuan dan karakteristik tertentu dalam menerima

informasi dan mengolah informasi sesuai dengan perkembangan otak mereka. Selain itu, lama atau masa fokus anak-anak usia 5-7 tahun berbeda dengan anak-anak usia lainnya termasuk perilaku dan/atau tingkah laku anak. Dengan mempertimbangkan dan menganalisis masalah serta konstrain tersebut, diharapkan solusi yang diberikan mampu memenuhi keterbatasan dan ruang lingkup permasalahan untuk anak-anak usia 5-7 tahun sehingga solusi tetap dapat menjawab dan menyelesaikan permasalahan yang ada.

Sistem yang dibangun untuk tugas akhir ini secara garis besar terbagi ke dalam dua kategori subsistem, yaitu subsistem pertama adalah sistem media atau pengaplikasian untuk menjaga fokus anak selama perkembangan kognitif melalui sistem permainan sambil belajar sederhana dan subsistem kedua adalah sistem untuk mendeteksi dan memonitor fokus anak selama proses pemakaian keseluruhan sistem. Sehingga, analisis masalah serta konstrain dapat berbeda antara subsistem pertama dan subsistem kedua.

1.1.2.1 Aspek Pendidikan dalam Konstrain Kemampuan Kognitif

Permasalahan ini bersinggungan dengan aspek pendidikan dimana kurangnya minat dan fokus anak selama proses pengembangan kemampuan kognitif akan berpengaruh terhadap proses pendidikan mereka di sekolah. Proses belajar selama jenjang pendidikan membutuhkan kemampuan kognitif untuk membuat anak tetap termotivasi dan percaya diri selama proses pembelajaran. Jika minat dan fokusnya tidak cukup baik selama masa emas untuk pengembangan kognitifnya, tentu saja akan berpengaruh terhadap akademik anak. Namun, untuk pengembangan kognitif tentu saja ada batasan tertentu terkhususnya pada anak usia 5-7 tahun.

Konstrain pendidikan dan kemampuan kognitif pada anak usia 5-7 tahun perlu diperjelas untuk membatasi kemampuan sistem agar terfokus pada subjek, yaitu anak usia 5-7 tahun. Anak-anak pada usia 5-7 tahun memiliki masa atau periode untuk mengalami perkembangan kognitif yang pesat. Berdasarkan teori dari Piaget dalam [14], anak pada usia 5-7 tahun berada pada fase pra-operasional. Fase ini merupakan fase anak belum menggunakan penalaran logis dalam pengambilan keputusan dan anak dalam periode ini cenderung mengambil keputusan berdasarkan hal-hal yang dapat

diamati secara langsung. Anak-anak dengan usia 5-7 tahun mampu mengenali angka dan huruf serta berhitung dan membaca sederhana. Sehingga, sistem yang dikembangkan dalam tugas akhir ini secara tegas tidak mencakup dan tidak relevan untuk kemampuan kognitif anak di luar usia 5-7 tahun. Selain itu, sistem hanya terbatas pada konsep permainan dalam pembelajaran yang sederhana dan mudah dipahami oleh anak melalui pengenalan huruf dan angka untuk anak usia 5-6 tahun serta operasi hitung dasar dan baca sederhana untuk anak usia 7 tahun. Sistem dalam tugas akhir ini tidak dirancang dan dibangun untuk melatih kemampuan atau meningkatkan kemampuan membaca dan berhitung pada anak-anak, melainkan menjaga fokus mereka melalui permainan perkembangan kognitif, yang salah satu metodenya adalah pendekatan melalui huruf dan angka.

1.1.2.2 Aspek Psikologi dalam Konstrain Rentang Fokus Anak

Rentang fokus anak yang tidak sesuai dengan kajian psikologi akan memberikan pengaruh terhadap bagaimana kualitas fokus pada anak. Oleh sebab itu diperlukan adanya batasan dan aturan yang jelas mengenai rentang fokus pada anak.

Konstrain rentang fokus anak berkaitan dengan lamanya atau durasi maksimal anak usia 5-7 tahun untuk tetap fokus. Rentang fokus anak usia 5-7 tahun berbeda dengan rentang fokus individu yang berada di luar rentang umur tersebut. Dalam sebuah kajian psikologi anak pada [33] disebutkan bahwa durasi fokus ideal anak usia 5-7 tahun adalah dengan mempertahankan fokus atau perhatiannya selama 15-20 menit pada akhir sesi intervensi atau pembelajaran. Berdasarkan konstrain tersebut, keseluruhan sistem dalam tugas akhir ini dirancang untuk mampu mempertahankan dan menjaga fokus anak usia 5-7 tahun maksimal hanya 18 menit dan mampu memonitor fokus anak dalam durasi tersebut. Sistem yang dikembangkan bersifat *monitoring* dan bukan kontrol yang hanya dapat mengamati dan mengukur fokus secara alami.

1.1.2.3 Aspek Lingkungan dalam Konstrain Lingkungan Penggunaan

Aspek lingkungan dalam konstrain lingkungan penggunaan berkaitan bagaimana kondisi lingkungan atau tempat sistem yang dikembangkan ini digunakan. Beberapa contoh distraksi lingkungan adalah suara, orang lalu-lalang, dan bendabenda termasuk

mainan di sekitar anak. Dengan demikian, lingkungan penggunaan sistem ini adalah lingkungan yang tenang, tidak ramai, dan tidak banyak hal atau benda di sekitar anak. Lingkungan dengan kriteria tersebut misalnya adalah rumah, ruangan belajar, dan kamar. Berdasarkan konstrain dan kriteria tersebut, sistem yang dikembangkan adalah sistem yang mampu dan cocok digunakan untuk di rumah dan ruangan sebagai pemakaian pribadi dan tidak menimbulkan distraksi yang berlebihan, misalkan suara termasuk tampilan yang terlalu nyentrik yang menyebabkan anak lebih tertarik pada bentuk alat bukan pada proses penggunaannya. Selain itu, sistem hanya mencatat dan memonitor kondisi fokus anak, bukan mampu menghilangkan distraksi yang ada.

1.1.2.4 Aspek Keamanan dalam Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak

Aspek keamanan dalam konstrain etika dan privasi anak berkaitan dengan keamanan anak selama penggunaan alat dan bagaimana data-data anak harus dilindungi, termasuk nama, umur, wajah, dan data anak lainnya. Data-data tersebut termasuk hal yang privasi bagi anak dan orang tua. Terutama data wajah merupakan data sensitif yang tidak boleh disimpan tanpa izin dan disebar. Berdasarkan konstrain tersebut, sistem yang dikembangkan dalam tugas akhir ini tidak memiliki mekanisme untuk menampilkan data secara publik melainkan sistem akan diproses secara lokal, sehingga yang dapat mengakses hanyalah orang tua atau keluarga dari anak. Selain itu, selama proses bermain anak didampingi oleh orang tua atau pendamping yang bersangkutan untuk memastikan keamanan pada anak.

Selain itu, dalam SNI ISO 8124 yang membahas tentang standar internasional tentang keamanan permainan yang mencakup uji fisik-mekanis, mudah terbakar, migrasi zat kimia berbahaya (seperti timbal dan ftalat), serta keamanan ayunan, seluncuran, dan playground indoor/outdoor. SNI ini diadaptasi dari ISO 8124 dan EN 71 (standar Eropa untuk toys), yang memastikan mainan bebas dari bahaya tersedak, tergores, terjatuh, atau tersetrus, serta sesuai untuk anak di bawah 14 tahun termasuk usia 5-7 tahun. Berdasarkan standar tersebut, alat dan bahan yang digunakan dalam sistem permainan tidak akan menggunakan bahan-bahan dan alat yang dapat membahayakan anak.

Standar dan Regulasi

1. Standar dan Regulasi dalam Sistem Pembelajaran berbasis Permainan

SNI ISO 8124 membahas tentang standar internasional tentang keamanan mainan yang mencakup uji fisik-mekanis, mudah terbakar, migrasi zat kimia berbahaya (seperti timbal dan ftalat), serta keamanan ayunan, seluncuran, dan playground indoor/outdoor. SNI ini diadaptasi dari ISO 8124 dan EN 71 (standar Eropa untuk toys), yang memastikan mainan bebas dari bahaya tersedak, tergores, terjatuh, atau tersetrum, serta sesuai untuk anak di bawah 14 tahun termasuk usia 5-7.

2. Standar dan Regulasi dalam Sistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Di Indonesia, perlindungan data anak diatur dalam Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) yang mewajibkan persetujuan orang tua dalam pengumpulan dan pemrosesan data biometrik anak, serta membatasi penggunaannya sesuai tujuan yang sah. Selain itu, UU ITE dan kebijakan perlindungan anak di ruang digital menekankan kewajiban keamanan sistem elektronik. Secara internasional, standar ISO/IEC 27001 dan ISO/IEC 29100 memberikan pedoman pengelolaan keamanan dan privasi data, sementara IEEE 7000 Series menegaskan pentingnya penerapan etika dalam sistem AI agar tidak menimbulkan pengawasan berlebihan atau dampak negatif bagi anak. Kepatuhan terhadap regulasi dan standar tersebut memastikan sistem monitoring fokus pada anak diterapkan secara aman, etis, dan bertanggung jawab.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan masalah yang dijelaskan serta analisisnya terhadap beberapa aspek dan konstrain yang telah ditetapkan, maka kebutuhan yang harus dipenuhi dalam sistem yang dirancang secara umum sebagai berikut.

1. Sistem harus mampu melatih fokus anak yang sesuai dengan konstrain kemampuan kognitif pada anak usia 5-7 tahun.
2. Sistem harus mampu mengakses fokus anak dengan memonitor melalui parameter durasi fokus anak berdasarkan posisi keterlibatan anak selama bermain, ekspresi wajah, gerakan kepala dan arah pandangan mata.

3. Sistem harus mampu menyimpan dan menampilkan laporan sebagai *progress monitoring* anak untuk dilihat oleh orang tua atau pendamping.

Dalam mencapai pemenuhan kebutuhan sistem secara umum tersebut, maka keseluruhan sistem akan dibagi ke dalam dua aspek utama, yaitu subsistem pertama merupakan subsistem pembelajaran berbasis permainan yang berfokus pada perancangan sistem untuk melatih fokus anak dan subsistem kedua merupakan subsistem *monitoring* fokus pada anak yang berfokus pada perancangan bagaimana fokus anak diakses melalui beberapa parameter, yakni durasi fokus berdasarkan posisi keterlibatan anak selama belajar, ekspresi wajah, dan gerakan kepala dan arah pandangan mata.

Setiap subsistem memiliki kebutuhan sendiri yang harus dipenuhi untuk mencapai terpenuhinya kebutuhan sistem secara keseluruhan. Berikut dijabarkan kebutuhankebutuhan yang harus dipenuhi dari setiap subsistemnya.

1.1.3.1 Subsistem Pembelajaran berbasis Permainan

Dalam merancang sistem pembelajaran berbasis permainan untuk membantu anak lebih minat dan fokus terhadap pengembangan kemampuan kognitifnya harus memenuhi kebutuhan-kebutuhan dari *stakeholder* serta memenuhi konstrain yang ditetapkan. Berikut adalah kebutuhan yang harus dipenuhi dalam sistem pembelajaran berbasis permainan.

1. Sistem harus mampu menyajikan permainan yang berkaitan dengan huruf, baca, angka, dan operasi hitung sederhana untuk anak-anak usia 5-7 tahun.
2. Sistem harus memiliki variasi dalam permainan yang diberikan dan memiliki tingkat kesulitan yang berbeda-beda.
3. Sistem harus mampu melibatkan anak secara langsung dengan benda nyata.
4. Sistem harus mampu menunjukkan skor hasil pembelajaran anak.

1.1.3.2 Subsistem Pemantauan Keterlibatan Belajar Anak Usia 5-7 Tahun

Dalam perancangan sistem pembelajaran berbasis permainan untuk anak usia 5-7 tahun, perlu diperhatikan keterbatasan durasi fokus belajar anak, yaitu sekitar 1020 menit per

sesi. Oleh karena itu, sistem harus mampu mengelola durasi aktivitas belajar agar tetap menarik dan efektif dalam mendukung pengembangan kemampuan kognitif, seperti matematika dasar dan literasi awal. Berikut kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem :

1. Sistem mampu memonitoring keterlibatan anak pada setiap sesi pembelajaran
2. Sistem mampu mencatat dan menghitung durasi total keterlibatan anak dalam sesi pembelajaran sebagai data pendukung pemantauan proses belajar.

1.1.3.3 Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Berdasarkan kajian teori dan hasil analisis permasalahan, anak prasekolah diketahui menunjukkan perubahan ekspresi wajah tertentu ketika tingkat fokusnya menurun. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem yang mampu mengenali dan menginterpretasikan ekspresi wajah anak secara otomatis untuk mendukung proses monitoring konsentrasi belajar. Kebutuhan yang harus dipenuhi untuk mendeteksi fokus berdasarkan ekspresi wajah adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat mendeteksi ekspresi wajah yang berkaitan dengan kondisi fokus dan tidak fokus.
2. Sistem dapat menganalisis perubahan ekspresi wajah anak secara *real-time*.
3. Sistem dapat menyajikan hasil analisis tingkat fokus dalam bentuk informasi yang jelas.

1.1.3.4 Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

Berdasarkan jurnal yang sudah dikutip, anak prasekolah lebih mudah kehilangan fokus yang dapat dilihat dari perubahan ukuran pupil mata dan arah pandangan. Oleh karena itu terdapat beberapa poin yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pendeteksian tersebut yaitu:

1. Sistem dapat mendeteksi lama frekuensi gerakan kepala anak saat memiringkan kepala dan memalingkan kepala
2. Sistem dapat mendeteksi lama frekuensi anak mengubah arah pandangan dari proses belajar
3. Sistem dapat memberikan hasil *monitoring* fokus atau tidaknya anak saat belajar

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan data pendukung, analisis masalah, dan perumusan kebutuhan yang harus dipenuhi, maka tujuan yang ingin dicapai adalah menyediakan sistem pembelajaran berbasis permainan menggunakan teknologi yang dapat melatih dan menjaga fokus anak selama proses pengembangan kemampuan kognitif serta sistem yang mampu memonitor fokus anak untuk memaksimalkan *progress* mereka selama pemakaian sistem yang dikembangkan.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

Karakteristik produk merupakan gambaran dari produk yang berupa sistem yang akan dikembangkan sebagai usulan solusi. Secara umum dalam keseluruhan sistem, karakteristik produk yang bersinggungan dan harus ada adalah mekanisme pelaporan proses yang dilakukan oleh anak setelah fokusnya dilatih dengan subsistem pembelajaran berbasis permainan dan pelaporan mengenai indikasi fokus anak selama bermain yang dilaporkan di akhir sesi. Lebih lanjut, karakteristik produk mengenai mekanisme pelaporan dijelaskan lebih detail mekanismenya sesuai dengan subsistem masing-masing dan untuk karakteristik produk lainnya dalam sistem pada tugas akhir ini akan dijabarkan masing-masing sesuai dengan kebutuhan pada subsistemnya.

1.2.1.1 Karakteristik Produk Subsistem Pembelajaran berbasis Permainan

Fitur Dasar

a. Sensing Capability

Alat harus memiliki kemampuan mendeteksi dan mengidentifikasi angka dan huruf secara akurat sehingga dapat diproses untuk di dalam sistem.

b. Data Processing

Alat harus dapat mengolah dan memproses data dengan baik dan dengan durasi yang cepat. Pemrosesan data yaitu terkait dengan bagaimana sistem dapat memproses *input* angka dan huruf termasuk variabel lain untuk memberikan keputusan atau hasil terkait dengan proses kalkulasi dan pemrosesan data untuk variasi soal dan tingkat kesulitan.

c. Computing Method

Alat harus memiliki metode komputasi untuk memproses data yang akan berpengaruh terhadap alur kerja sistem sehingga dapat memberikan alur bermain yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Fitur ini pada setiap solusi yang diberikan digunakan untuk memberikan level kesulitan yang berbeda-beda yang mana hal tersebut menjadi kebutuhan dari alur kerja sistem.

d. Performance Tracker

Alat harus mampu menghitung jumlah benar (skor) dengan tepat untuk ditampilkan di akhir sesi permainan.

e. Practical Engagement

Alat harus dapat melibatkan anak secara langsung dengan benda atau objek nyata sebagai bahan bermain serta alur dan mekanisme permainan yang baik untuk meningkatkan minat dan tetap menjaga fokus mereka dengan sistem permainan.

f. Feedback Mechanism

Alat harus dapat memberikan umpan balik yang jelas terhadap anak terkait dengan soal yang ditampilkan, pemberitahuan apakah jawaban mereka benar atau salah, termasuk menunjukkan hasil skor mereka dalam satu kali sesi bermain.

1.2.1.2 Karakteristik Produk Subsistem Penghitung Durasi Fokus Belajar Pada Anak

Fitur dasar

1. Real time monitoring

Solusi yang diberikan harus mampu memantau kegiatan atau aktivitas anak selama sesi pembelajaran secara akurat.

2. Sensing capability

Solusi yang diberikan mampu mendeteksi keberadaan dan aktivitas anak di area belajar dengan memantau keterlibatan selama sesi pembelajaran.

3. Metode Komputasi

Solusi memiliki komputasi yang optimal untuk mendeteksi aktivitas saat anak belajar secara *real time*

4. *Sensing Report*

Sistem dapat memberikan laporan tingkat fokus untuk keperluan *monitoring*

1.2.1.3 Karakteristik Produk Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Fitur Dasar

1. *Sensing Capability*

Alat mampu mendeteksi indikator fokus anak melalui ekspresi wajah.

2. *Data Processing*

Alat harus dapat mengolah data wajah anak dengan cepat untuk ekstraksi fitur seperti posisi mata, kepala, dan mulut.

3. *Computing Capability*

Alat harus mampu mengklasifikasikan kondisi fokus atau tidak fokus anak berdasarkan analisis ekspresi wajah secara real-time.

4. *Session Report*

Alat dapat menghasilkan laporan kondisi fokus anak setelah sesi gamifikasi untuk dilakukan evaluasi oleh guru atau orang tua.

1.2.1.4 Karakteristik Produk Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

Fitur Dasar

1. *Sensing capability*

Sistem dapat mendeteksi lama dan frekuensi gerakan kepala anak dan arah pandangan saat proses belajar

2. *Computing performance*

Sistem dapat melakukan proses komputasi dan dapat memberikan hasil apakah anak fokus atau tidak selama proses belajar

3. *Data processing*

Sistem dapat memproses data yang dimasukkan untuk digunakan dalam pemilihan kondisi anak apakah fokus atau tidak

4. *Sensing report*

Sistem dapat memberikan laporan tingkat fokus untuk keperluan *monitoring*

1.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan karakteristik produk yang dijabarkan sebelumnya, maka akan diberikan usulan solusi yang mampu menyelesaikan permasalahan yang diangkat yang nantinya usulan solusi tersebut akan dipilih untuk dikembangkan dan dirancang menjadi sistem yang dapat menyelesaikan permasalahan. Usulan solusi yang dibagi masing-masing sesuai dengan subsistemnya. Berikut adalah masing-masing usulan solusi dari setiap subsistem.

1.2.2.1 Usulan Solusi Subsistem Pembelajaran berbasis Permainan

1.2.2.1.1 Solusi 1: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan Kartu RFID

Sistem permainan menemukan angka menggunakan kartu RFID ini dirancang untuk melatih kemampuan kognitif dan menjaga mereka tetap fokus bagi anak-anak usia 5-7 tahun. Permainan menemukan angka dan kata ini membuat seorang anak harus fokus dalam menemukan angka dan huruf yang diminta oleh soal. Sehingga, anak dapat fokus untuk memikirkan dan menemukan jawabannya sekaligus melatih kemampuan kognitif mereka dengan permainan ini. Permainan ini menggunakan kartu RFID sebagai objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak-anak untuk bermain sambil belajar.

Kartu RFID merupakan kartu yang telah ditanam label atau tag RFID. RFID merupakan singkatan dari *Radio Frequency Identification* yang berguna untuk mengidentifikasi atau mengenali suatu informasi menggunakan gelombang radio atau gelombang elektromagnetik [34]. Kartu RFID dapat menyimpan data. Data yang disimpan pada kartu RFID dapat dibaca menggunakan suatu mesin pembaca kartu atau yang biasa disebut dengan *RFID reader*. Kartu RFID yang sudah berisi data di dalamnya cukup ditempelkan pada *RFID reader* agar data dapat terbaca.

Kartu RFID digunakan sebagai komponen utama dalam sistem yang dirancang. Setiap angka numerikal dimulai dari angka 0 hingga angka 9 akan disimpan dalam sepuluh

kartu RFID yang berbeda. Selain itu, 26 huruf alfabet juga akan disimpan dalam 26 kartu RFID yang berbeda sebagai tanda pengenal huruf. RFID *reader* dapat membaca data dalam kartu RFID dengan sangat cepat. Kisaran waktu RFID *reader* dapat membaca data dari kartu RFID umumnya hitungan milidetik hingga kurang dari satu detik. Kecepatan aktual pembacaan data kartu RFID dipengaruhi oleh jenis *reader* serta ukuran data yang disimpan.

Dalam sistem yang dirancang, data yang disimpan dalam kartu RFID masing-masingnya hanya satu digit saja sehingga proses pembacaan data kartu RFID oleh RFID *reader* tidak memakan waktu yang lama. Kartu-kartu RFID nantinya akan dilabeli angka 0 hingga angka 9 lalu 26 huruf dari A-Z sehingga dikenali oleh anak-anak. Kombinasi kartu-kartu tersebut yang akan mereka gunakan untuk menemukan angka dan kata.

Sebelum sistem ini digunakan, seorang anak harus sudah dipastikan terdaftar pada sebuah halaman *website* yang nantinya digunakan sebagai antarmuka. Ketika mendaftarkan akun yang akan diisi oleh orang tua akan diminta mengisi nama anak serta umur anak. Selain itu, halaman *website* juga digunakan untuk melihat skor benar seorang anak selama bermain dalam satu kali sesi. Apabila anak salah satu kali dalam menjawab soal, maka akan diberikan kesempatan menjawab soal dua kali lagi dan jika masih salah maka akan langsung pindah ke soal berikutnya. Satu sesi seorang anak bermain maksimal 20 menit. *Website* digunakan sebagai sistem untuk melihat *progress* mereka apakah ada peningkatan atau tidak.

Selain itu untuk mencapai *adaptive learning* serta agar permainan tidak membosankan dengan soal yang monoton, sistem akan menerapkan *adaptive learning* dengan menaikkan tingkat kesulitan soal berdasarkan jumlah jawaban benar seorang anak dalam menjawab soal. *Adaptive learning* adalah pendekatan pembelajaran yang menggunakan teknologi serta algoritma untuk menyesuaikan materi, tingkat kesulitan, dan metode penyampaian yang sesuai dengan kebutuhan serta kemampuan setiap peserta didik secara individual [35]. Ciri utama *adaptive learning* adalah sebagai berikut.

1. Sistem *adaptive learning* menyesuaikan persoalan sesuai dengan kemampuan belajar peserta.
2. Algoritma dan data analitik digunakan untuk memetakan kekuatan individu sehingga soal dapat diberikan yang sesuai dengan kemampuan peserta.
3. Materi ataupun soal-soal yang diberikan ke setiap individu dapat berbeda tergantung pada perkembangan dan hasil evaluasi secara *real-time*.

Dalam sistem yang dibuat, *adaptive learning* diterapkan untuk tingkat kesulitan soal yang diberikan kepada anak. Tingkat kesulitan soal diukur berdasarkan jumlah jawaban benar dalam menjawab soal. Apabila anak menjawab soal benar sebanyak tiga kali berturut-turut, maka tingkat kesulitan soal akan meningkat. Dalam mengimplementasikan *adaptive learning* ini dapat menggunakan algoritma *machine learning*.

Machine learning adalah suatu teknologi yang menjadikan suatu mesin untuk bisa belajar tanpa arahan dari manusia. Dengan *machine learning*, suatu mesin atau sistem dapat mempelajari berdasarkan data yang sudah ada atau belajar berdasarkan data yang ia peroleh sehingga mampu melakukan tugas tertentu [36].

Dengan cabang *machine learning*, maka *adaptive learning* tadi dapat diterapkan. Salah satu cabang ilmu *machine learning* adalah *reinforcement learning*. *Reinforcement learning* adalah salah satu teknik *machine learning* yang dirancang untuk melatih model komputer agar mampu mengambil serangkaian keputusan secara mandiri. Dalam metode ini, agen perangkat lunak (*software agent*) berinteraksi dengan lingkungannya untuk mencapai tujuan tertentu. Proses pembelajaran dilakukan dengan mekanisme *trial and error*. Setiap tindakan agen yang memberikan hasil yang positif akan diberi *reward* sedangkan untuk tindakan yang kurang tepat atau salah akan dikenai *penalty* [37].

Reinforcement learning memiliki beberapa komponen utama, yakni sebagai berikut [38].

1. Agen (*Agent*), yaitu entitas yang belajar dan mengambil tindakan
2. Lingkungan (*Environment*), yaitu dunia tempat agen beroperasi dan belajar.
3. Keadaan (*State*), yaitu representasi situasi lingkungan saat ini.
4. Tindakan (*Action*), yaitu pilihan yang diambil agen pada suatu keadaan.
5. Imbalan (*Reward*), yaitu umpan balik numerik yang diterima agen setelah melakukan tindakan.
6. Kebijakan (*Policy*), yaitu strategi atau aturan yang digunakan agen untuk memilih tindakan.
7. Fungsi Nilai (*Value Function*), yaitu estimasi keuntungan jangka panjang dari suatu keadaan atau tindakan.
8. Model Lingkungan (*Model*), yaitu representasi tentang bagaimana lingkungan bereaksi terhadap tindakan agen.

Reinforcement learning digunakan oleh sistem yang akan bertindak sebagai agen untuk mempelajari lingkungan pengerjaan soal oleh anak. Durasi pengerjaan anak dalam menjawab soal yang benar serta apakah jawaban anak benar/salah yang merupakan *state* dalam model *reinforcement learning* akan menjadi bahan belajar oleh agen atau sistem untuk mengambil tindakan atau *action* berikutnya, yaitu berupa tingkat kesulitan soal. Dengan demikian, sistem akan belajar secara otomatis dan belajar serta beradaptasi terus menerus terhadap lingkungannya untuk mengambil keputusan atau tindakan yang semakin membaik di masa mendatang. *Reinforcement learning* ini menjadikan agen dapat belajar secara mandiri tanpa pelatihan manual yang memakan waktu serta dapat mengoptimasi jangka panjang. Sehingga apabila terdapat pengembangan berkelanjutan sistem dapat terus belajar dan beradaptasi dalam penyesuaian dengan lingkungannya.

Salah satu algoritma populer yang digunakan pada *reinforcement learning* adalah *Q-Learning*. *Q-Learning* menggunakan sebuah tabel yang biasa disebut *Q-table* untuk menyimpan nilai (*Q-value*) dari setiap pasangan keadaan (*state*) dan aksi (*action*). Nilai *Q* ini merepresentasikan seberapa baik suatu aksi diambil pada keadaan tertentu, dengan tujuan memaksimalkan total *reward* jangka panjang.

Inti dari *Q-Learning* adalah proses *update* nilai *Q* menggunakan persamaan Bellman, sebagai berikut.

$$Q(s,a) = Q(s,a) + \alpha \times [R + \gamma \max_{a'} Q(s',a) - Q(s,a)]$$

Persamaan 1.1 Persamaan Bellman dalam *Q-Learning* Keterangan:

$Q(s,a)$: Nilai *Q* untuk *state* s dan aksi a : *Learning rate* (seberapa besar pembaruan nilai *Q*) r : *Reward* yang didapat setelah melakukan aksi a di *state* s γ : *Discount factor* (seberapa penting *reward* masa depan) $\max Q(s',a)$: Nilai *Q* maksimum dari semua aksi di *state* berikutnya s' Proses kerja *Q-Learning* adalah sebagai berikut.

1. Inisialisasi nilai *Q-table* dengan nilai awal (biasanya nol).
2. Selama proses belajar:
 - a. Agen mengamati *state* saat ini s .
 - b. Agen memilih aksi a .
 - c. Agen melakukan aksi, menerima *reward* r dan berpindah ke *state* baru s' .
 - d. *Update* nilai *Q* untuk pasangan (s, a) menggunakan rumus Bellman.
 - e. Ulangi proses sampai selesai (misal, sampai konvergen atau mencapai jumlah episode tertentu).

Algoritma *Q-Learning* ini lah yang akan diterapkan nanti di dalam sistem untuk menentukan tingkat kesulitan soal yang diberikan pada anak sehingga proses pembelajaran dapat lebih bervariasi.

Sebagai umpan balik terhadap anak, yakni mekanisme anak dalam melihat soal yang diberikan, melihat apakah jawaban mereka benar atau salah, serta melihat skor mereka, maka pada solusi ini akan menggunakan sebuah oled *display module* untuk menampilkan soal serta jawaban dan skor mereka. Selain itu menggunakan LED berwarna hijau untuk pemberitahuan jawaban benar dan LED berwarna merah untuk pemberitahuan jawaban salah.

1.2.2.1.2 Solusi 2: Solusi 1: Permainan Menemukan Objek menggunakan

Sensor Berat

Sistem permainan menemukan objek menggunakan sensor berat ini dirancang untuk melatih kemampuan kognitif dan menjaga mereka tetap fokus bagi anak-anak usia 5-7 tahun. Permainan menemukan objek ini membuat seorang anak harus fokus dalam menemukan angka dan huruf yang diminta oleh soal. Sehingga, anak dapat fokus untuk memikirkan dan menemukan jawabannya sekaligus melatih kemampuan kognitif mereka dengan permainan ini. Agar objek dapat ditemukan, maka digunakan sensor berat untuk mengukur berat dari objek yang sesuai dengan kata yang diminta. Sehingga objek-objek yang akan ditimbang merupakan objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak untuk bermain sambil belajar. Misal, ketika soal meminta anak untuk menemukan kata “BUKU” menggunakan 3 objek dengan diberitahu bahwa total beratnya adalah 11 gram, maka nanti akan diberikan daftar setiap objek dan huruf dengan bobotnya masing-masing. Misal, huruf B = 4 gram, huruf U = 1 gram, dan huruf K = 5 gram. Maka anak harus menimbang objek yang mewakili huruf B, U, K, dan U.

Sensor berat atau biasa dikenal dengan sensor berat adalah alat yang digunakan untuk mengukur suatu berat benda dengan mengubah gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sensor berat dilengkapi dengan elemen sensor yang mampu mengukur deformasi dengan mengukur perubahan resistansi akibat deformasi. Perubahan resistansi tersebut lah yang diubah menjadi sinyal listrik sehingga didapatkan informasi terkait berat dari benda yang diukur [39].

Sensor berat merupakan media utama dalam permainan dikarenakan objek akan diukur beratnya menggunakan sensor ini. Objek yang akan digunakan dalam sistem ini diukur terlebih dahulu berat masing-masingnya untuk dijadikan sebagai angka yang akan dikombinasikan dalam pembuatan soal permainan di setiap variasinya. Objek yang digunakan adalah objek yang menarik bagi anak-anak misalkan buahbuahan. Objek tersebut lah yang akan digunakan oleh anak-anak untuk ditimbang dan didapatkan angka yang diminta oleh soal. Dengan objek yang memiliki berat yang bervariasi, maka proses anak dalam menemukan angka yang diminta akan membuat seorang anak melakukan kombinasi antara angka-angka pada berat benda serta operasi hitung dasar

pada matematika. Sensor berat mampu mengukur berat benda lebih dari satu benda yang ditumpuk atau berada pada satu sensor berat yang sama. Sehingga tidak diperlukan sensor berat yang banyak untuk mengkombinasikan angka-angka.

Sistem ini nantinya memiliki sensor berat sebagai timbangan serta beberapa objek yang dikumpulkan untuk digunakan dalam permainan. Selain itu, sistem ini juga mengharuskan seorang anak untuk terdaftar dalam sistem dengan melakukan pendaftaran melalui halaman *website*. Durasi bermain serta skor jawaban benar dapat dilihat pada halaman *website* yang telah dibuat sebagai antarmuka. Apabila anak salah satu kali dalam menjawab soal, maka akan diberikan kesempatan menjawab soal dua kali lagi dan jika masih salah maka akan langsung pindah ke soal berikutnya.

Sistem ini juga mengadaptasi *adaptive learning* untuk menentukan tingkat kesulitan soal. *Adaptive learning* ini dapat diimplementasikan menggunakan *machine learning* pada cabang ilmu *reinforcement learning* seperti yang dijelaskan pada bagian 1.2.2.1.1 Solusi 1. Berdasarkan parameter banyaknya jumlah benar dalam menjawab soal akan menjadi data dalam model *reinforcement learning* yang dibuat untuk memprediksi soal berikutnya.

Dengan menggunakan sensor berat, anak-anak akan terlibat dengan objek nyata dan anak dapat merasakan langsung hubungan berat benda dengan besarnya nilai suatu bilangan. Semakin besar nilai suatu bilangan maka kuantitasnya akan semakin besar sehingga benda terasa lebih berat. Selain itu, operasi hitung dasar anak juga dilatih untuk menemukan angka yang tepat berdasarkan soal yang diminta.

Sebagai antarmuka atau umpan balik yang diterima oleh anak ketika mereka akan menjawab soal, pemberitahuan terkait jawaban benar atau salah, serta skor hasil bermain setiap satu kali sesi adalah menggunakan *OLED display module* yang terpasang pada alat untuk dapat dilihat oleh anak.

1.2.2.1.3 Solusi 3: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan Kamera berbasis *Computer Vision*

Sistem permainan menemukan angka dan kata menggunakan kamera ini dirancang untuk melatih kemampuan kognitif dan menjaga mereka tetap fokus bagi anak-anak usia 5-7 tahun. Permainan menemukan angka dan kata ini membuat seorang anak harus fokus dalam menemukan angka dan huruf yang diminta oleh soal. Sehingga, anak dapat fokus untuk memikirkan dan menemukan jawabannya sekaligus melatih kemampuan kognitif mereka dengan permainan ini. Permainan ini menggunakan kartu sebagai objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak-anak untuk bermain sambil belajar.

Kamera dikenal sebagai benda atau alat yang mampu menangkap suatu objek nyata dan menyimpannya sebagai gambar. Dengan demikian, kamera dalam sistem ini berperan sebagai alat yang dapat menangkap angka dan huruf untuk dikombinasikan dan dioperasikan sehingga angka dan huruf yang diminta dapat ditemukan. Pada sistem yang dirancang ini, objek yang akan ditangkap oleh kamera adalah objek angka dan huruf yang dibentuk atau dianimasikan dari sayuran atau buah-buahan. Angka dan huruf yang dianimasikan dari sayuran atau buah-buahan dipilih dikarenakan animasi adalah sesuatu yang menarik bagi anak-anak. Apabila anak salah satu kali dalam menjawab soal, maka akan diberikan kesempatan menjawab soal dua kali lagi dan jika masih salah maka akan langsung pindah ke soal berikutnya.

Kamera akan menangkap objek angka dan huruf tersebut dan akan mengoperasikan kombinasinya untuk mendapatkan angka dan huruf yang ditemukan. Agar sistem mengetahui angka berapa yang dimasukkan melalui hasil tangkapan kamera, digunakan suatu algoritma *deep learning* berbasis *computer vision*. *Deep learning* merupakan cabang ilmu *machine learning* yang menggunakan teknologi jaringan saraf tiruan untuk meniru cara kerja otak manusia dalam memproses data dan membuat keputusan. Salah satu implementasi dari *deep learning* adalah pada *computer vision*. *Computer vision* merupakan cabang ilmu yang memungkinkan komputer dan sistem dapat melihat kemudian memproses gambar atau video layaknya penglihatan manusia. Melalui *computer vision*, komputer dapat mengolah informasi berdasarkan gambar

atau video yang dibaca dan dapat memberikan keputusan atau suatu hasil bermakna melalui informasi tersebut.

Salah satu algoritma berbasis *computer vision* yang dapat digunakan adalah CNN (*Convolutional Neural Network*). CNN adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dirancang khusus untuk pengolahan data berbentuk gambar dan citra yang sangat populer dalam bidang *deep learning*, khususnya untuk klasifikasi gambar, deteksi objek, segmentasi citra, dan pengenalan pola visual [40].

Pada arsitekturnya, CNN terdiri dari tiga komponen utama yakni sebagai berikut.

1. Convolutional Layer

Layer ini merupakan lapisan inti yang mengekstraksi fitur dari gambar menggunakan filter (kernel). Filter ini bergerak di atas gambar (*input*) dan menghasilkan *feature map*, mengidentifikasi fitur-fitur sederhana seperti tepi, sudut, dan pola tekstur [41]. Ada tiga *hyperparameter* yang memengaruhi ukuran volume hasil yang perlu ditetapkan sebelum melatih model CNN, yaitu sebagai berikut.

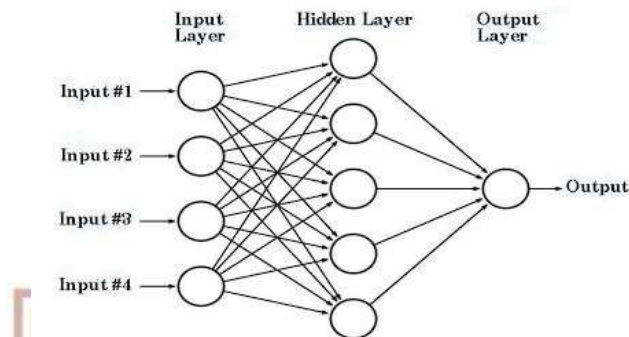
- a. Jumlah Filter memengaruhi kedalaman *output*. Misalnya, tiga filter berbeda akan menghasilkan tiga peta fitur yang berbeda, menciptakan kedalaman tiga.
- b. Langkah adalah jarak atau jumlah piksel yang dipindahkan kernel pada matriks *input*.
- c. *Zero-padding* biasanya digunakan ketika filter tidak sesuai dengan gambar *input*. Ini mengatur semua elemen yang berada di luar matriks *input* ke nol, menghasilkan *output* yang lebih besar atau berukuran sama.

2. Pooling Layer

Layer ini bertujuan mereduksi dimensi dan kompleksitas data melalui operasi seperti *max pooling* atau *average pooling* sehingga jaringan lebih efisien dan *robust* terhadap perubahan kecil pada gambar [42].

3. Fully Connected Layer

Layer ini merupakan lapisan terakhir berisi neuron yang terhubung penuh, bertugas mengolah hasil ekstraksi fitur menjadi *output* akhir seperti prediksi kelas pada klasifikasi gambar.



Gambar 1. 1 *Fully Connected Layer*

Layer ini melakukan tugas klasifikasi berdasarkan fitur yang diekstraksi melalui lapisan sebelumnya dan filter yang berbeda. Lapisan ini biasanya memanfaatkan fungsi aktivasi *softmax* untuk mengklasifikasikan *input* dengan tepat, menghasilkan probabilitas dari 0 hingga 1.

Dengan menggunakan CNN sebagai algoritma berbasis *computer vision* dalam sistem yang dikembangkan, maka gambar-gambar angka berupa animasi dapat dilatih sehingga sistem dapat mengenali angka-angka dan huruf. Dengan pengambilan gambar angka menggunakan kamera lalu dilanjutkan dengan pra pemrosesan serta analisis citra untuk mengenali angka dan huruf, maka sistem dapat mengenal gambar angka dan huruf yang dapat dimasukkan oleh anak sebagai *input* sehingga dapat diproses dan dihitung untuk mendapatkan jawaban. Kecepatan pembacaan serta proses komputasi tergantung pada algoritma serta perangkat yang digunakan.

Pada solusi ini juga tetap memanfaatkan metode *adaptive learning* dengan menggunakan *reinforcement learning* untuk menciptakan sistem bermain yang tingkat kesulitan soalnya dapat bervariasi berdasarkan performa anak dalam bermain.

Sebelum sistem ini digunakan, seorang anak harus sudah dipastikan terdaftar pada sebuah halaman *website* yang nantinya digunakan sebagai antarmuka. Ketika mendaftarkan akun yang akan diisi oleh orang tua akan dimintai mengisi nama anak serta umur anak. Selain itu, halaman *website* juga digunakan untuk melihat skor benar seorang anak selama bermain dalam satu kali sesi. Apabila anak salah satu kali dalam menjawab soal, maka akan diberikan kesempatan menjawab soal dua kali lagi dan jika masih salah maka akan langsung pindah ke soal berikutnya. *Website* digunakan sebagai sistem untuk melihat *progress* mereka apakah ada peningkatan atau tidak.

Dengan menggunakan sistem ini, anak juga tetap terlibat dengan objek nyata dan mampu melatih dan menjaga fokus menggunakan kamera. Pada solusi ini, mekanisme umpan balik ialah soal yang diberikan, jawaban yang diberikan oleh anak, dan skor akan ditampilkan pada *website* yang sudah dirancang. Dalam pemberitahuan apakah jawaban anak benar atau salah akan menggunakan *output* berupa suara.

1.2.2.2 Subsistem penghitung durasi fokus belajar pada anak

1.2.2.2.1 Sistem Pemantauan Durasi Fokus Belajar Anak Berbasis *Computer Vision* dan *MediaPipe*

Anak usia 5–7 tahun berada pada tahap awal perkembangan kognitif, khususnya dalam kemampuan mempertahankan fokus dan perhatian selama proses belajar. Pada usia ini, anak mulai diperkenalkan pada aktivitas pembelajaran yang menuntut pemrosesan kognitif, seperti matematika dasar dan literasi awal, namun kemampuan untuk mempertahankan perhatian secara konsisten masih belum berkembang secara optimal. Kondisi tersebut menyebabkan anak mudah terdistraksi dan berpotensi meninggalkan aktivitas belajar sebelum tugas yang diberikan selesai. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau keterlibatan anak selama sesi pembelajaran berlangsung.[18]

Sistem ini didasarkan pada konsep *computer vision*, yaitu cabang ilmu komputasi yang memungkinkan sistem komputer untuk memperoleh dan menafsirkan informasi dari citra atau video secara otomatis. *Computer vision* dimanfaatkan untuk pemantauan aktivitas manusia karena mampu bekerja secara *real-time*, serta tidak memerlukan

interaksi langsung dengan objek yang diamati. *Computer vision* memungkinkan sistem mengenali keberadaan dan posisi manusia dalam suatu lingkungan melalui analisis pola visual, sehingga dapat digunakan untuk sistem pemantauan berbasis kamera.[43]

Dalam penyelesaian masalah ini *computer vision* dimanfaatkan untuk mendeteksi keberadaan anak selama sesi pembelajaran berlangsung. Sistem tidak dirancang untuk menganalisis ekspresi wajah, emosi, atau perilaku kompleks anak, melainkan difokuskan pada deteksi kehadiran sebagai dasar pengukuran durasi fokus belajar. Untuk mengimplementasikan *computer vision* secara efisien, sistem ini menggunakan *MediaPipe* sebagai *framework* pemrosesan visual. *MediaPipe* merupakan *framework* open-source yang dikembangkan oleh Google dan dirancang untuk membangun pipeline pemrosesan multimedia berbasis *machine learning* secara real-time. *MediaPipe* menyediakan berbagai modul siap pakai, seperti deteksi wajah dan pose manusia, yang telah dioptimalkan untuk berjalan pada perangkat dengan sumber daya terbatas tanpa memerlukan proses pelatihan ulang model. *MediaPipe* dapat menjalankan pemrosesan visual yang modular, ringan, dan memiliki latensi rendah, sehingga cocok diterapkan pada sistem pemantauan berbasis kamera. [44]

Pada sistem ini *mediaPipe* berperan untuk menjalankan proses analisis visual. Kamera yang dipasang di area belajar menangkap aktivitas anak secara terusmenerus dalam bentuk citra video. Setiap frame video yang diterima kemudian diproses oleh modul *MediaPipe*, khususnya pada fitur deteksi tubuh, untuk menentukan apakah tubuh anak berada dalam sudut pandang kamera. Deteksi tubuh digunakan sebagai indikator utama kehadiran anak selama sesi belajarnya. Secara teknis, *MediaPipe* mendeteksi wajah manusia dengan mengekstraksi titiktitik landmark penting pada area wajah, seperti posisi mata, hidung, dan kontur wajah. Informasi ini direpresentasikan dalam bentuk koordinat dua dimensi atau tiga dimensi yang menggambarkan posisi relatif wajah terhadap kamera. [45]

Apabila wajah anak terdeteksi secara konsisten, sistem akan menganggap anak masih berada di depan perangkat pembelajaran. Sebaliknya, jika wajah tidak terdeteksi dalam jangka waktu tertentu, sistem akan mengindikasikan bahwa anak telah meninggalkan aktivitas belajar. Pengukuran durasi fokus belajar dalam sistem ini tidak didasarkan

pada lamanya sesi berjalan, melainkan pada akumulasi waktu saat anak benar-benar terdeteksi berada di depan perangkat pembelajaran. Sistem akan mulai menghitung durasi ketika wajah anak terdeteksi dan menghentikan atau menjeda penghitungan ketika wajah tidak lagi terdeteksi.

1.2.2.2.2 Sistem Pemantauan Durasi Belajar Anak Usia 5-7 Tahun Berbasis Deteksi Keberadaan Menggunakan Logika Fuzzy

Anak usia 5–7 tahun berada pada tahap awal perkembangan kognitif, khususnya dalam kemampuan mempertahankan fokus dan perhatian selama proses belajar. Pada usia ini, anak cenderung aktif bergerak, mudah terdistraksi, serta belum mampu mengatur fokus secara konsisten dalam durasi yang panjang. Kondisi tersebut menyebabkan anak sering meninggalkan aktivitas belajar sebelum sesi pembelajaran selesai, terutama ketika pembelajaran disajikan dalam bentuk digital atau gamifikasi dan pendamping tidak selalu berada di dekat anak. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau keterlibatan anak selama sesi belajar berlangsung secara berkelanjutan dan realistis.

Sistem memanfaatkan sensor deteksi keberadaan sebagai komponen utama untuk memperoleh data awal mengenai keterlibatan anak selama sesi pembelajaran. Sensor ini berfungsi untuk mengamati apakah anak masih berada di area belajar dan mengikuti sesi pembelajaran yang sedang berlangsung. Sensor tidak digunakan untuk menilai kemampuan kognitif atau tingkat fokus secara langsung, melainkan hanya untuk mendeteksi keberadaan anak sebagai dasar pemantauan durasi keterlibatan belajar.[46]

Data yang dihasilkan oleh sensor deteksi keberadaan bersifat dinamis. Hal ini disebabkan oleh perilaku alami anak usia dini yang sering bergerak, berpindah posisi, atau berhenti sesaat tanpa benar-benar meninggalkan aktivitas belajar. Jika data tersebut ditafsirkan secara langsung menggunakan pendekatan keputusan tegas, maka sistem berisiko menghasilkan kesalahan, seperti menganggap anak tidak belajar hanya karena gerakan sesaat.

Implementasi logika fuzzy dalam sistem diawali dengan proses fuzzifikasi, yaitu mengubah nilai hasil pembacaan sensor menjadi himpunan linguistik. Input sistem

berupa tingkat atau frekuensi keberadaan anak dalam interval waktu tertentu, yang kemudian dipetakan ke dalam kategori seperti tidak terdeteksi, terdeteksi rendah, dan terdeteksi tinggi. Keberadaan anak tidak langsung diputuskan secara biner, melainkan dinilai berdasarkan derajat keanggotaannya.

Aturan fuzzy yang dirancang sesuai dengan karakteristik pembelajaran anak usia dini. Aturan ini menggambarkan hubungan antara tingkat keberadaan anak dan status sesi belajar. Sebagai contoh, apabila tingkat keberadaan anak tinggi, maka sesi belajar dikategorikan sebagai aktif. Sebaliknya, apabila tingkat keberadaan rendah dalam durasi tertentu, maka sesi belajar dikategorikan sebagai tidak aktif. Pengambilan keputusan dilakukan secara bertahap sehingga sistem lebih toleran terhadap perilaku anak yang dinamis dan tidak langsung mengklasifikasikan gangguan sesaat sebagai ketidakterlibatan belajar.[47]

Hasil dari proses inferensi fuzzy kemudian melalui tahap defuzzifikasi untuk menghasilkan keputusan tegas yang dapat digunakan oleh sistem. Keputusan ini menunjukkan apakah sesi belajar masih berlangsung, terhenti sementara, atau telah ditinggalkan. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar untuk menghitung durasi keterlibatan anak dalam sesi pembelajaran berbasis gamifikasi. Pengukuran durasi dilakukan dengan mengakumulasi waktu ketika sistem mengidentifikasi kondisi belajar aktif.[48]

Dengan pendekatan berbasis deteksi keberadaan dan logika fuzzy, sistem ini mampu memantau durasi keterlibatan belajar anak secara adaptif dan realistis. Pemisahan peran antara sensor sebagai pengumpul data dan logika fuzzy sebagai mekanisme penafsiran keputusan menjadikan sistem lebih sesuai dengan karakteristik perkembangan anak usia 5–7 tahun serta selaras dengan prinsip etika dan kenyamanan belajar anak usia dini

1.2.2.2.3 Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Usia Dini Selama Sesi Belajar Berbasis CNN

Pembelajaran menggunakan media pembelajaran pada anak usia 5–7 tahun semakin banyak diterapkan karena dinilai mampu meningkatkan minat dan keterlibatan belajar melalui penyajian materi yang menarik dan interaktif. Namun demikian, berbagai kajian menunjukkan bahwa anak usia dini memiliki rentang perhatian yang masih terbatas serta kemampuan regulasi fokus yang belum berkembang secara optimal.

Akibatnya, anak cenderung mudah terdistraksi dan meninggalkan aktivitas belajar sebelum sesi pembelajaran selesai. Kondisi ini menyulitkan pendamping dalam memantau keterlibatan anak secara objektif, terutama ketika pendamping tidak dapat terus-menerus berada di dekat anak selama proses belajar berlangsung. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pemantauan yang mampu bekerja secara adaptif dan sesuai dengan karakteristik perkembangan anak usia dini.

Sistem pemantauan ini memanfaatkan kamera sebagai sensor utama karena tidak mengganggu aktivitas belajar anak. Kamera digunakan untuk mengamati keberadaan anak selama sesi belajar berlangsung tanpa memerlukan interaksi fisik maupun perangkat yang dikenakan oleh anak, sehingga kenyamanan anak tetap terjaga.

Citra visual yang diperoleh dari kamera diproses menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) untuk mendeteksi keberadaan objek manusia pada setiap frame pengamatan. YOLO merupakan algoritma deteksi objek satu tahap yang mampu melakukan identifikasi lokasi dan kelas objek secara cepat, sehingga sesuai untuk sistem pemantauan yang membutuhkan respons waktu nyata. Dalam konteks ini, YOLO digunakan untuk memastikan apakah anak masih berada di area belajar selama sesi pembelajaran berlangsung [47].

Meskipun demikian, hasil deteksi YOLO dapat mengalami fluktuasi akibat pergerakan anak yang dinamis, perubahan posisi tubuh, maupun gangguan visual dari lingkungan sekitar. Untuk meningkatkan keandalan sistem, hasil deteksi tersebut selanjutnya diverifikasi menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN memiliki kemampuan ekstraksi fitur visual yang lebih mendalam sehingga dapat membantu mengurangi kesalahan klasifikasi dan meningkatkan konsistensi hasil pemantauan keberadaan anak.

Integrasi YOLO dan CNN memungkinkan sistem tidak hanya mendeteksi keberadaan anak secara sesaat, tetapi juga menganalisis pola keberadaan anak dalam suatu rentang waktu tertentu. Keputusan mengenai status kehadiran anak tidak ditentukan berdasarkan satu hasil pengamatan saja, melainkan berdasarkan kecenderungan hasil deteksi yang berkelanjutan. Pendekatan ini lebih toleran terhadap perilaku alami anak, seperti bergerak perlahan, berpindah posisi, atau berhenti sesaat tanpa benar-benar meninggalkan area belajar. Analisis berbasis waktu ini dinilai mampu meningkatkan stabilitas keputusan pada lingkungan yang dinamis [48].

Apabila hasil analisis menunjukkan bahwa anak tidak lagi berada di area belajar sebelum sesi pembelajaran selesai dan kondisi tersebut berlangsung melewati ambang waktu yang telah ditentukan, sistem mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai ketidakhadiran selama sesi aktif. .

1.2.2.3 Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

1.2.2.3.1 Solusi 1: Sistem Deteksi Fokus Anak Berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN)

Sistem deteksi fokus anak berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) dirancang untuk digunakan dalam lingkungan pembelajaran anak usia 5-7 tahun. Sistem ditempatkan sebagai perangkat eksternal di area belajar yang memantau ekspresi wajah anak selama pembelajaran. Dalam skenario praktis, kamera terpasang pada sudut yang menghadap area aktivitas anak, yang menangkap citra wajah anak secara *real-time* selama proses pembelajaran. Sistem kemudian memproses setiap *frame* wajah yang terekam untuk mengenali ekspresi yang merepresentasikan kondisi fokus atau tidak fokus anak. Hasil prediksi fokus dicatat dan diolah menjadi laporan yang dapat digunakan orang tua untuk evaluasi perkembangan perhatian anak sepanjang sesi pembelajaran dan dari waktu ke waktu.

Convolutional Neural Network (CNN) adalah salah satu arsitektur utama dalam *deep learning* yang dirancang khusus untuk memproses dan menganalisis data citra dua dimensi seperti fotografi wajah, video, dan bentuk visual lainnya. CNN termasuk dalam kategori *deep neural network* karena terdiri dari banyak lapisan yang dapat mempelajari representasi data secara hierarkis, dari fitur sederhana hingga fitur kompleks. CNN digunakan dalam berbagai tugas visi komputer (*computer vision*), termasuk pengenalan objek (*object recognition*), pengenalan wajah (*face recognition*), pengenalan ekspresi wajah (*facial expression recognition*), dan segmentasi citra, karena kemampuannya untuk menangkap hubungan spasial antar piksel tanpa memerlukan ekstraksi fitur manual secara eksplisit [49].

Arsitektur CNN umumnya terdiri dari beberapa jenis lapisan utama yang bekerja secara bertahap untuk mengekstraksi fitur dari gambar masukan:

- a. Lapisan Konvolusi (*Convolutional Layer*)

Lapisan ini adalah komponen inti dari CNN. Pada lapisan ini, jaringan menggunakan kernel (filter) yang ukurannya lebih kecil daripada gambar *input* untuk melakukan operasi konvolusi. Setiap filter ini bergerak (sliding) di seluruh citra *input* dan melakukan operasi perkalian elemen (*dot product*) dengan bagian citra yang sesuai. Hasilnya merupakan *feature map* yang menunjukkan keberadaan pola visual tertentu seperti tepi, sudut, atau tekstur.

Jumlah filter dan ukuran kernel (misalnya 3×3 atau 5×5) menentukan jenis fitur yang dapat dipelajari jaringan. Semakin dalam lapisan konvolusi, semakin kompleks fitur yang bisa dikenali (misalnya kombinasi bentuk mata, mulut, atau kontur wajah).
nature.com

b. Lapisan Aktivasi (*Activation Layer*)

Setelah konvolusi, jaringan menggunakan fungsi aktivasi untuk memperkenalkan non-linearitas ke dalam model. Fungsi yang paling umum digunakan adalah ReLU (*Rectified Linear Unit*) karena sederhana dan membantu mengatasi masalah vanishing gradient, sehingga pelatihan jaringan menjadi lebih cepat dan stabil.

c. Lapisan Pooling (*Pooling Layer*)

Pooling digunakan untuk mengurangi dimensi fitur dan memperkuat ketahanan terhadap variasi posisi atau perubahan kecil pada citra. Teknik yang sering digunakan adalah *max pooling*, di mana nilai tertinggi dalam jendela kecil (misalnya 2×2) dipilih dan dipindahkan ke *output*. *Pooling* membantu mengurangi jumlah parameter dan mengurangi resiko *overfitting*.

d. Lapisan *Fully Connected* (FC Layer)

Setelah beberapa lapisan konvolusi dan *pooling*, data fitur yang telah diekstraksi dipipihkan (flatten) menjadi vektor satu dimensi lalu diteruskan ke lapisan *fully connected*. Di sini, setiap neuron terhubung dengan setiap neuron di lapisan sebelumnya, dan digunakan untuk melakukan klasifikasi akhir berdasarkan fitur yang telah dipelajari oleh lapisan konvolusi.

1.2.2.3.2 Solusi 2: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis *Facial Landmark* dan *Support Vector Machine* (SVM)

Sistem pendeteksi fokus anak berbasis *facial landmark* dan *Support Vector Machine* (SVM) dirancang untuk memantau tingkat fokus anak usia 5–7 tahun selama proses pembelajaran berlangsung. Sistem ini menggunakan kamera yang dipasang di area belajar untuk menangkap citra wajah anak secara *real-time* tanpa mengganggu aktivitas belajar. Setiap citra wajah yang terekam akan diproses untuk mendeteksi titik-titik penting pada wajah anak, seperti posisi mata, alis, hidung, dan mulut, yang selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi pola ekspresi wajah yang berkaitan dengan kondisi fokus atau tidak fokus.

Facial landmark digunakan untuk mengekstraksi fitur geometris wajah yang merepresentasikan perubahan ekspresi, seperti perubahan bukaan mata, pergerakan alis, dan bentuk mulut. Perubahan geometris ini dapat mencerminkan kondisi keterlibatan kognitif anak, karena ekspresi wajah merupakan indikator non-verbal penting dalam memahami fokus dan perhatian [50]

Fitur geometris yang diperoleh kemudian diklasifikasikan menggunakan *Support Vector Machine* (SVM). SVM digunakan karena memiliki kemampuan generalisasi yang baik, terutama pada dataset berukuran kecil hingga menengah, serta mampu menghasilkan batas keputusan yang stabil untuk membedakan kondisi fokus dan tidak fokus. Dengan demikian, sistem dapat memberikan hasil klasifikasi yang konsisten dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi pembelajaran.

Facial landmark detection merupakan teknik visi komputer yang digunakan untuk merepresentasikan struktur wajah manusia melalui titik-titik kunci yang stabil dan dapat diukur secara matematis. Teknik ini telah banyak digunakan dalam sistem pengenalan ekspresi karena mampu merepresentasikan perubahan wajah secara efisien tanpa memerlukan pemrosesan citra yang kompleks.

Support Vector Machine merupakan algoritma pembelajaran mesin yang mencari hyperplane optimal untuk memisahkan data ke dalam kelas-kelas tertentu. Algoritma

ini dikenal stabil terhadap *overfitting* dan efektif dalam kasus klasifikasi dengan jumlah fitur terbatas dan data yang tidak terlalu besar, sehingga sesuai untuk sistem monitoring berbasis ekspresi wajah [51].

1.2.2.3.3 Solusi 3: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis *Temporal Convolutional Network* (TCN)

Sistem pendeteksi fokus anak berbasis *Temporal Convolutional Network* (TCN) memanfaatkan kamera untuk merekam urutan video wajah anak selama proses pembelajaran berlangsung. Video yang diperoleh tidak diproses sebagai gambar tunggal, melainkan sebagai rangkaian *frame* berurutan yang merepresentasikan ekspresi wajah anak dari waktu ke waktu. Dengan menganalisis urutan ekspresi wajah secara kontinu, sistem dapat menangkap perubahan halus yang mencerminkan tingkat keterlibatan kognitif anak secara lebih akurat dibandingkan pendekatan yang hanya mengamati satu *frame* wajah pada satu waktu.

Model *Temporal Convolutional Network* digunakan karena dirancang khusus untuk mempelajari data berurutan melalui mekanisme konvolusi kausal dan *dilated convolution*, yang memungkinkan model menangkap hubungan temporal jangka pendek maupun jangka panjang tanpa ketergantungan rekursif seperti pada LSTM atau GRU. Dengan struktur ini, TCN mampu memproses seluruh urutan video secara paralel dan stabil, sekaligus mempertahankan sensitivitas terhadap perubahan ekspresi yang terjadi dari *frame* ke *frame*. Hal ini membuat TCN bisa digunakan untuk aplikasi pemantauan fokus anak yang membutuhkan pemrosesan video secara *real-time* atau *near real-time* dalam lingkungan pembelajaran alami yang tidak selalu terkontrol [52].

Pendekatan spasio-temporal pada pengenalan ekspresi wajah anak memodelkan dinamika otot wajah sebagai urutan perubahan temporal yang saling berkaitan. Studi terkini membuktikan bahwa model konvolusi temporal seperti TCN mampu mengenali pola dinamika ekspresi anak dari data video secara efektif, setara atau lebih baik dibandingkan model berbasis LSTM dan GRU. Oleh itu, TCN menawarkan landasan teoritis yang solid untuk mendeteksi indikator perhatian anak, termasuk konsistensi

tatapan mata, pola pergantian ekspresi, serta transisi dari ekspresi netral menuju emosional dalam rekaman video secara real-time [53].

Dengan mengintegrasikan pengolahan sekuens video wajah dan model *Temporal Convolutional Network*, sistem ini mampu mengklasifikasikan kondisi fokus anak berdasarkan pola perubahan ekspresi sepanjang waktu, bukan hanya berdasarkan snapshot wajah sesaat. Pendekatan ini membuat sistem lebih robust terhadap noise visual, variasi pencahayaan, serta perubahan latar belakang, sekaligus lebih peka terhadap dinamika perilaku anak. Oleh karena itu, solusi ini dinilai layak secara teknis dan metodologis untuk diterapkan sebagai sistem pendeteksi fokus anak usia dini dalam konteks pembelajaran berbasis video yang bersifat alami dan dinamis.

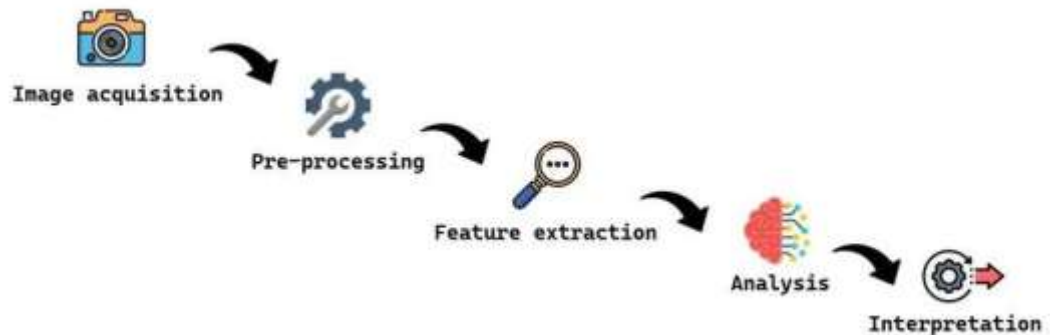
1.2.2.4 Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

1. Solusi 1: Sistem Pendeteksi Gerakan Kepala dan Arah Pandangan Anak Berbasis Kamera dan Computer Vision

Solusi pertama yang ditawarkan yaitu menggunakan kamera untuk mendeteksi gerakan dan arah pandangan anak yang kemudian dihubungkan dengan algoritma yang terdapat pada computer vision pada sebuah single board computer. Dalam sistem ini kamera akan ditempatkan pada tempat yang dapat secara keseluruhan mengambil tampak depan wajah anak, *output* dari kamera kemudian akan dikirimkan untuk diproses lebih lanjut menggunakan algoritma yang terdapat pada computer vision. Fitur wajah yang diekstrak untuk diberikan ke algoritma yaitu pendeteksian wajah serta *landmark* seperti mata, hidung, mulut, dan alis. Dengan variasi fitur tersebut pendeteksian anak saat mengubah arah pandangan dapat dideteksi kamera dengan mudah yaitu saat kamera tidak mendeteksi *landmark* wajah anak, sementara untuk gerakan kepala dapat dideteksi berdasarkan frekuensi serta berapa perubahan sudut yang disebabkan oleh gerakan kepala anak.

Computer vision merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan atau AI yang memungkinkan komputer untuk memproses dan menganalisis gambar atau video agar dapat menghasilkan suatu informasi dan membuat keputusan berdasarkan data.

Computer vision bekerja dengan pada gambar dan video dengan penggabungan dari komputasi matematika untuk mendeteksi objek 2D dan 3D, statistika untuk memperkirakan tingkat keputusan dari objek yang dideteksi, dan ilmu komputer untuk menjalankan algoritma tersebut dengan bantuan suatu kode program [54].



Gambar 1. 2 Proses dari *Computer Vision*

Proses pertama yang dilakukan dari computer vision ini yaitu pengambilan gambar, dalam konteks ini gambar dapat berupa objek 2D maupun 3D, untuk video computer vision mengambil tiap *frame* sehingga hasil akhir yang dideteksi tetap dalam bentuk gambar. Selanjutnya yaitu *pre-processing* terhadap gambar, proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas gambar yang dideteksi sehingga komputer nantinya dapat menghasilkan pendeteksian gambar yang jelas dan baik, proses ini biasanya dapat berupa meningkatkan kontras gambar, normalisasi warna gambar, dan mengurangi dimensi gambar untuk mempermudah pemrosesan data. Setelah *pre-processing* dilakukan, fitur yang ingin dideteksi dari gambar kemudian akan diambil untuk diproses. Bentuk, warna, maupun tekstur dari gambar dapat diidentifikasi sebagai satu fitur untuk data yang akan diidentifikasi. Tahap analisis merupakan tahap yang dijalankan untuk mengklasifikasikan maupun mendeteksi suatu pola dari fitur yang sudah diambil tergantung dari program sistem, tiap fitur yang dideteksi bisa saja memiliki analisis yang berbeda. Terakhir yaitu tahap interpretasi yaitu tahap untuk menentukan keputusan terhadap fitur dari gambar seperti mendeteksi mobil yang hanya berwarna merah dari suatu video atau mendeteksi tangan pada kamera[55].

Single Board Computer (SBC) merupakan komputer mini yang dimuat dalam suatu board, fungsi dari SBC sama seperti komputer pada umumnya namun dengan bentuk

yang lebih kecil dan portabel. Pemakaian SBC pada zaman sekarang ini banyak digunakan dikarenakan penempatannya dalam satu *board* namun memiliki pemakaian energi yang lebih efisien karena menggunakan prosesor arsitektur RISC dibandingkan penggunaan komputer dengan prosesor x86 [56].

2. Solusi 2: Sistem Pendeteksian Gerakan Kepala Dengan Sensor Inersial dan Arah Pandangan Dengan Kamera Mini Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic

Solusi kedua menggunakan gabungan dari sensor dan kamera mini dan mikrokontroler untuk proses komputasi, sensor yang digunakan disini yaitu sensor inersial (IMU) yang dapat mendeteksi perubahan gerakan kecil maupun besar dari kepala anak, serta arah pandangan anak yang dapat dideteksi menggunakan kamera mini, sistem ini menggunakan mikrokontroler untuk melakukan proses komputasi. Sehingga pada hasil akhirnya kedua *output* dari kamera maupun dari sensor IMU akan digabungkan dan dipilih menggunakan algoritma fuzzy logic. Penggunaan sensor IMU akan dibuat *wearable* untuk dipakai anak karena fungsinya untuk mendeteksi pergerakan kepala anak. Sistem ini memberikan hasil akurasi yang lebih variatif dan tinggi karena merupakan gabungan dari sensor dan kamera. Penggunaan sensor IMU juga meringankan komputasi yang dilakukan sehingga memungkinkan penggunaan mikrokontroler yang membutuhkan daya dan *resource* yang lebih ringan dibandingkan dengan penggunaan SBC yang lebih banyak memakan daya dan *resource*.

Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) yang digunakan untuk melakukan deteksi gerakan kepala pada sensor ini umumnya terdapat akselerometer dan giroskop. Akselerometer merupakan suatu perangkat yang dapat mendeteksi gaya statik berupa gravitasi dan gaya dinamik seperti vibrasi dan gerakan. akselerometer dapat mengukur 3 sumbu yaitu sumbu x,y, dan z, yang mana x, y, dan z menunjukkan dimensi dari suatu benda. Giroskop secara konsep mengacu pada roda berputar dengan sumbu rotasi yang bebas bergerak kesegala arah. Ketika berputar, orientasi sumbu tersebut akan tetap stabil meskipunudukannya miring atau berputar, sesuai dengan hukum kekekalan momentum sudut. Karena sifat ini, giroskop sering digunakan untuk mengukur orientasi dan laju perubahan [56]. Kombinasi antara akselerometer dan giroskop dalam sensor IMU ini memungkinkan sistem melihat nilai gerakan mikro maupun makro pada kepala anak yang akan menjadi nilai acuan apakah anak sedang fokus atau tidak.

Kamera mini pada mikrokontroler memiliki fungsi yang sama dengan kamera pada solusi pertama yaitu untuk mendeteksi arah pandangan anak dan kemudian data tersebut diproses pada mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan perangkat yang memiliki CPU, RAM, ROM, dan unit I/O yang bisa digunakan untuk memproses data dan menjalankan suatu program [57]. Perbedaan dari SBC dan Mikrokontroler ini terletak pada *chip* yang digunakan serta penggunaan dayanya. Mikrokontroler memiliki *chip* spesifik yang digunakan untuk tugas pemrosesan data serta penggunaan daya yang lebih ringan.

Algoritma Fuzzy Logic merupakan modifikasi dari algoritma klasifikasi sederhana yang menggunakan nilai boolean satu dan nol sebagai representasi “Ya” atau “Tidak” [58]. Dalam sistem ini Fuzzy Logic akan menggabungkan kedua jenis *input* yaitu sensor IMU dan kamera kemudian mengklasifikasikan apakah anak sedang fokus atau tidak. Keunggulan dari pemakaian Fuzzy logic dibandingkan dengan algoritma pemilihan klasik terletak pada fitur yang dapat menangani ketidakpastian dari *input* sehingga *output* tidak benar-benar hanya bernilai fokus atau tidak saja, selain itu terdapat juga derajat keanggotaan untuk setiap *input*, yang berarti tidak semua *input* bernilai satu atau nol saja. Akibatnya pada sistem ini fuzzy logic dapat digunakan untuk mengatur berapa rentang *input* yang dapat dideteksi untuk *output* anak yang sedang fokus atau tidak.

3. Solusi 3: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Menggunakan Gabungan Sensor Inersial, Sensor Jarak, dan Sensor Inframerah

Solusi ketiga menggunakan gabungan sensor yang berbeda-beda untuk mendeteksi fokus anak. Sensor inersial masih sama untuk mendeteksi pergerakan kepala anak, sedangkan sensor jarak dan inframerah digunakan untuk pendeteksian jarak anak dengan tempat belajar. Terdapat dua bagian untuk deteksi jarak anak ke tempat belajar ini yaitu sensor jarak yang diletakkan pada tempat belajar dan sensor inframerah yang dipasang ke kepala anak. Arah pandangan menggunakan solusi ini digantikan dengan data yang dihasilkan dari sensor jarak yaitu saat anak terlalu dekat akan menghasilkan deteksi kalau anak memerhatikan proses belajar saat ini, digabungkan dengan sensor inframerah yang menjadi variabel tambahan apakah anak sedang

memperhatikan proses belajar, sehingga nilai akhirnya nanti akan digabungkan untuk menentukan apakah anak fokus atau tidak.

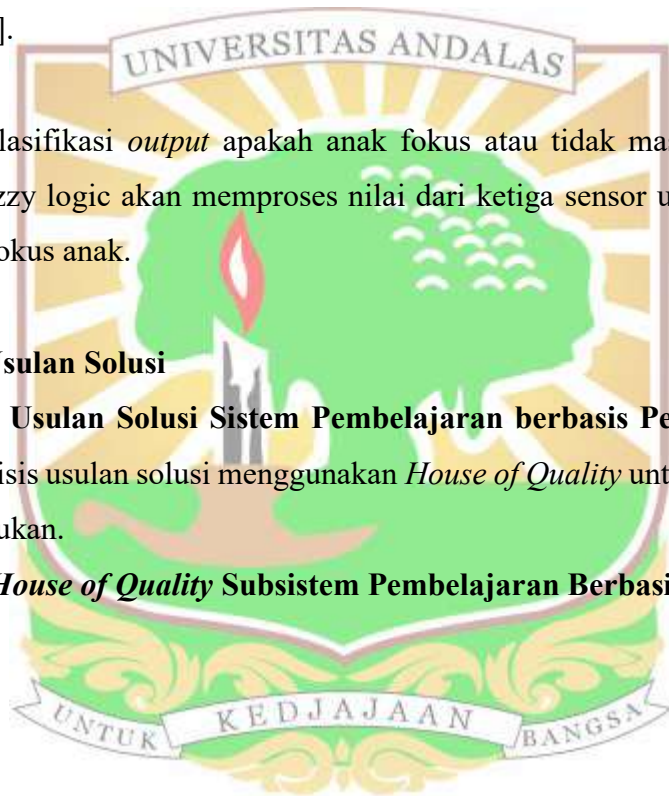
Sensor Jarak merupakan sensor yang dapat mengukur jarak dan kedalaman dari suatu benda. Sensor ini dapat berupa sensor yang mengukur jarak menggunakan gelombang suara maupun mengukur jarak menggunakan cahaya inframerah [59]. Selanjutnya yaitu sensor inframerah, yaitu sensor yang dapat mendeteksi cahaya inframerah dari suatu benda. Sensor ini bekerja dengan cara memancarkan sinar inframerah tersebut lalu menangkap kembali sinar tersebut untuk dapat diubah menjadi data yang dapat diproses yang kemudian akan digunakan untuk mendeteksi dan mengukur jarak benda yang ada dipantulkan [60].

Untuk proses klasifikasi *output* apakah anak fokus atau tidak masih menggunakan fuzzy logic. Fuzzy logic akan memproses nilai dari ketiga sensor untuk menentukan berapa tingkat fokus anak.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

1.2.3.1 Analisis Usulan Solusi Sistem Pembelajaran berbasis Permainan Berikut merupakan analisis usulan solusi menggunakan *House of Quality* untuk kebutuhan dari solusi yang diajukan.

Tabel 1. 3 *House of Quality* Subsistem Pembelajaran Berbasis Permainan



	House of Quality			Fitur Dasar						Total	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
				↑	↑	↑	↑	↓	↑				
● = Hubungan Kuat (5) ○ = Hubungan Biasa (3) △ = Hubungan Kurang (1) ↑ = Prioritas ↓ = Tidak Prioritas	Importance Rating (1=low, 5=high)	Percent of Importance Rating	Sensing Capability	Data Processing	Computing Method	Performance Tracker	Practical Engagement	Feedback Mechanism					
Konstrain	Konstrain Kemampuan Kognitif	5	28%	○	●								
	Konstrain Rentang Fokus Anak	5	28%	●		○	○	●	△				
	Konstrain Lingkungan Penggunaan	3	16%	○				○					
	Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak	5	28%	●				●	○				
Importance Rating			74	25	15	15	59	20	208	80	48	64	
Percent of Importance			36%	12%	7%	7%	28%	10%	100%	42%	25%	33%	
Solusi 1			●	●	●	●	○	●	4.44				
Solusi 2			○	○	●	●	●	○	3.84				
Solusi 3			○	○	●	●	○	●	3.48				

Berdasarkan hasil analisa menggunakan HoQ dari 3 usulan solusi yang diberikan, didapatkan rincian hasil HoQ sebagai berikut.

Solusi 1:

$$(5 \times 36\%) + (5 \times 12\%) + (5 \times 7\%) + (5 \times 7\%) + (3 \times 28\%) + (5 \times 10\%) = 4.44$$

Solusi 2:

$$(3 \times 36\%) + (3 \times 12\%) + (5 \times 7\%) + (5 \times 7\%) + (5 \times 28\%) + (3 \times 10\%) = 3.84$$

Solusi 3:

$$(3 \times 36\%) + (3 \times 12\%) + (5 \times 7\%) + (5 \times 7\%) + (3 \times 28\%) + (5 \times 10\%) = 3.48$$

Rincian hasil HoQ yang didapatkan dari hubungan kebutuhan sistem dan pengguna adalah sebagai berikut.

a. *Sensing Capability* (Panah atas, Prioritas)

Fitur ini menjadi prioritas dikarenakan solusi yang diusulkan atau alat yang akan dibuat harus mampu mendeteksi dan mengenali *input* berupa angka dan huruf agar dapat dikenali oleh sistem. Dengan mengedepankan akurasi dan ketepatan pembacaan nilai-nilai *input* maka alat yang dibuat sebagai solusi yang diusulkan dapat memberikan dampak dan memenuhi kebutuhan pengguna.

b. Data Processing (Panah atas, Prioritas)

Fitur ini merupakan fitur yang krusial dikarenakan pada pemrosesan data-data *input* yaitu berupa huruf dan angka perhitungan dan pemrosesan data dari variabel lainnya seperti durasi dan jumlah benar (skor) haruslah tepat untuk menghasilkan luaran yang diharapkan, yaitu dapat menghitung jawaban dengan benar dan dapat memunculkan variasi soal serta tingkat kesulitan yang berbedabeda. Oleh sebab itu lah fitur ini diberi prioritas.

c. Computing Method (Panah atas, Prioritas)

Fitur ini menjadi prioritas dikarenakan data-data berupa masukan atau *input* serta data yang sudah diproses akan diproses kembali oleh metode komputasi untuk mendapatkan hasil sesuai dengan kebutuhan alat. *Computing method* pada setiap solusi yang diberikan digunakan untuk memberikan level kesulitan yang berbeda-beda yang mana hal tersebut menjadi kebutuhan dari sistem.

d. Performance Tracker (Panah atas, Prioritas)

Fitur ini juga menjadi prioritas dikarenakan untuk mendapatkan hasil yang baik serta untuk mencapai kebutuhan sistem dalam memberikan level kesulitan yang berbeda, maka sistem harus mampu melakukan pelacakan performa bermain anak dengan menghitung jumlah benar (skor) mereka dalam menjawab soal sebagai parameter untuk menentukan level kesulitan berikutnya.

e. Practical Engagement (Panah bawah, Tidak prioritas)

Setiap solusi yang diberikan melibatkan anak langsung dengan benda nyata walau jenis bendanya berbeda-beda. Fitur ini tidak diprioritaskan dikarenakan benda nyata apapun yang digunakan, tidak terlalu memengaruhi kinerja keseluruhan sistem dikarenakan

prioritas utama sistem adalah pada bagian *processing* untuk mencapai semua kebutuhan pengguna. Oleh sebab itu, fitur ini tidak terlalu diprioritaskan tetapi tetap ada untuk semua solusi yang ditawarkan.

f. Feedback Mechanism (Panah atas, Prioritas)

Fitur ini menjadi prioritas karena mekanisme umpan balik yang baik akan memberikan pengalaman yang baik juga bagi anak sehingga dapat meningkatkan pengalaman mereka dalam mengembangkan kemampuan kognitif mereka dan menjaga fokus anak. Selain itu, *feedback* yang jelas akan memberikan informasi yang lebih bagus dan terstruktur sehingga memudahkan pengguna untuk memahami informasi yang ada. Oleh sebab itu lah fitur ini menjadi prioritas dalam sistem yang dibuat.

Analisis Solusi Terhadap Fitur Dasar

1. Solusi 1: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan Kartu RFID Sensing Capability (Hubungan Kuat)

Pemilihan sensor tertentu memengaruhi kapabilitas dalam mendeteksi angka dan huruf sebagai *input*. Solusi ini menggunakan kartu RFID sebagai media untuk mendeteksi huruf dan angka. Diberikan hubungan kuat karena kemampuan pembacaan huruf dan angka matematika dari kartu RFID memiliki kapabilitas yang baik.

Data Processing (Hubungan Kuat)

Pemrosesan data dalam solusi ini adalah pemrosesan data huruf dan angka dari kartu RFID serta data lainnya seperti durasi dan jumlah benar (skor) dalam menjawab. Solusi ini tidak memiliki pemrosesan data yang kompleks dikarenakan data didapatkan dari kartu RFID yang mudah untuk dibaca nilainya sehingga diberi hubungan kuat.

Computing Method (Hubungan Kuat)

Solusi ini menggunakan algoritma *Q-Learning* untuk menentukan kesulitan soal dalam menentukan tingkat kesulitan soal berdasarkan performa anak sehingga metode komputasi ini menjadi prioritas dalam solusi ini. Oleh karena itu diberi hubungan kuat.

Performance Tracker (Hubungan Kuat)

Dalam solusi ini, sistem dapat menghitung jumlah jawaban benar (skor) anak yang terintegrasi langsung dalam mekanisme permainan, selain itu fitur ini juga merupakan prioritas karena memengaruhi alur permainan. Oleh sebab itu diberi hubungan kuat.

Practical Engagement (Hubungan Biasa)

Objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak selama proses bermain pada dasarnya adalah kartu biasa yang membuat kegiatan bermain tetap interaktif namun tidak menjadi prioritas dalam solusi ini. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

Feedback Mechanism (Hubungan Kuat)

Mekanisme umpan balik dalam solusi ini adalah menggunakan *display module* untuk menampilkan soal yang diberikan, jawaban oleh anak, serta skor bermain setelah satu kali sesi. Selain itu penggunaan LED berwarna hijau dan merah sebagai notifikasi untuk jawaban benar dan salah. Diberi hubungan kuat karena solusi ini mekanisme yang sederhana, mudah dipahami oleh anak, dan menarik.

Selain itu, dengan mekanisme umpan balik dalam solusi ini tetap menjaga anak minim *screentime* selama proses bermain.

2. Solusi 2: Permainan Menemukan Objek menggunakan Sensor Berat

Sensing Capability (Hubungan Biasa)

Pemilihan sensor tertentu memengaruhi kapabilitas dalam mendeteksi angka sebagai nilai *input*. Solusi ini menggunakan sensor berat sebagai media untuk mendeteksi angka dan memanfaatkan objek nyata yang memiliki berat yang berbeda-beda sebagai logika untuk operator matematika. Diberikan hubungan biasa karena kemampuan pembacaan angka melalui sensor berat dapat dilakukan, tetapi proses kalibrasi sensor yang cukup susah untuk mendapatkan hasil pembacaan yang baik.

Data Processing (Hubungan Biasa)

Pemrosesan data dalam solusi ini adalah pemrosesan data angka dan operator dari sensor berat serta data lainnya seperti jumlah benar (skor) dalam menjawab. Solusi ini memang tidak memiliki pemrosesan data yang terlalu kompleks namun cukup

memengaruhi hasil akhir karena data yang diproses dari sensor berat cukup susah untuk mendapatkan data yang tepat. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

Computing Method (Hubungan Kuat)

Solusi ini menggunakan algoritma *Q-Learning* untuk menentukan kesulitan soal dalam menentukan tingkat kesulitan soal berdasarkan performa anak sehingga metode komputasi ini menjadi prioritas dalam solusi ini. Oleh karena itu diberi hubungan kuat.

Performance Tracker (Hubungan Kuat)

Dalam solusi ini, sistem dapat menghitung jumlah jawaban benar (skor) anak yang terintegrasi langsung dalam mekanisme permainan, selain itu fitur ini juga merupakan prioritas karena memengaruhi alur permainan. Oleh sebab itu diberi hubungan kuat.

Practical Engagement (Hubungan Kuat)

Objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak selama proses bermain menggunakan objek-objek tertentu yang berat setiap objeknya akan didesain berbeda sehingga memberikan pengalaman yang menarik bagi anak-anak dengan objek-objek tersebut. Oleh sebab itu diberi hubungan kuat.

Feedback Mechanism (Hubungan Biasa)

Mekanisme umpan balik dalam solusi ini adalah menggunakan *display module* untuk menampilkan soal yang diberikan, jawaban oleh anak, pemberitahuan jawaban benar atau salah serta skor bermain setelah satu kali sesi. Diberi hubungan biasa karena solusi ini memang memiliki mekanisme yang sederhana, mudah dipahami oleh anak, dan jelas tersampaikan serta tetap minim *screentime* sebagai nilai tambah.

3. Solusi 3: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan

Kamera berbasis *Computer Vision*

Sensing Capability (Hubungan Biasa)

Pemilihan sensor tertentu memengaruhi kapabilitas dalam mendeteksi huruf dan angka sebagai nilai *input*. Diberikan hubungan biasa karena kemampuan pembacaan angka

melalui kamera dapat dilakukan, tetapi proses *training* juga menentukan akurasi dan ketepatan dalam pembacaan angka.

Data Processing (Hubungan Biasa)

Pemrosesan data dalam solusi ini adalah pemrosesan data angka dan huruf dari kamera dan jumlah benar (skor) dalam menjawab. Solusi ini memiliki pemrosesan data yang cukup kompleks karena data angka diambil dari pembacaan gambar angka yang ditangkap oleh kamera sehingga memengaruhi hasil akhir karena data yang diproses dari kamera apabila tidak menjalani *training* yang baik maka akan memengaruhi akurasi pembacaan data yang juga berpengaruh terhadap pemrosesan data. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

Computing Method (Hubungan Kuat)

Solusi ini menggunakan algoritma *Q-Learning* untuk menentukan kesulitan soal dalam menentukan tingkat kesulitan soal berdasarkan performa anak sehingga metode komputasi ini menjadi prioritas dalam solusi ini. Selain menggunakan *Q-Learning*, pada solusi ini juga menggunakan algoritma CNN untuk mengolah citra gambar angka untuk membaca angka dari gambar. Oleh karena itu diberi hubungan kuat.

Performance Tracker (Hubungan Kuat)

Dalam solusi ini, sistem dapat menghitung jumlah jawaban benar (skor) anak yang terintegrasi langsung dalam mekanisme permainan, selain itu fitur ini juga merupakan prioritas karena memengaruhi alur permainan. Oleh sebab itu diberi hubungan kuat.

Practical Engagement (Hubungan Biasa)

Objek benda nyata yang akan digunakan oleh anak selama proses bermain pada dasarnya adalah kartu biasa yang membuat kegiatan bermain tetap interaktif namun tidak menjadi prioritas dalam solusi ini. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

Feedback Mechanism (Hubungan Kuat)

Mekanisme umpan balik dalam solusi ini adalah menggunakan LCD yang menampilkan *website* untuk menampilkan soal yang diberikan, jawaban oleh anak,

serta skor bermain setelah satu kali sesi. Selain itu penggunaan suara yang dikeluarkan dari sistem untuk memberitahu anak apakah jawaban yang mereka berikan benar atau salah. Diberi hubungan kuat karena solusi ini memang memiliki mekanisme yang sederhana, mudah dipahami oleh anak, dan menarik dengan menampilkan halaman *website* yang *interface* nya menarik serta penggunaan suara untuk membangkitkan semangat anak.

Analisis Solusi terhadap Konstrain

1. Solusi 1: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan Kartu RFID

Konstrain Kemampuan Kognitif (Hubungan Kuat)

Hubungan antara konstrain ini diberi hubungan kuat dengan solusi ini dikarenakan pada konstrain ini berfokus pada bagaimana kemampuan kognitif anak dapat dilatih sesuai dengan rentang umur subjek yang berkaitan dengan huruf dan angka. Solusi ini menawarkan metode permainan menemukan angka dan kata menggunakan kartu yang nantinya akan diberikan pertanyaan sederhana yang sesuai dengan umur mereka.

Konstrain Rentang Fokus Anak (Hubungan Kuat)

Hubungan antara konstrain ini dengan solusi ini diberi hubungan kuat dikarenakan pada solusi ini memiliki sistematika dimana dalam satu kali sesi hanya akan memiliki durasi maksimal 20 menit sesuai dengan durasi fokus ideal pada anak. Dengan adanya sistematika tersebut, maka konsep permainan dibuat menyesuaikan dengan durasi fokus yang ideal pada anak usia 5-7 tahun sehingga diberi hubungan kuat.

Konstrain Lingkungan Penggunaan (Hubungan Kuat)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana lingkungan penggunaan alat memengaruhi fokus atau distraksi anak termasuk juga bagaimana alat itu sendiri akan memecah atau menjaga fokus anak. Diberi hubungan kuat dikarenakan solusi ini didesain sederhana yang tidak menghasilkan banyak distraksi seperti visual yang mencolok atau suara yang dapat memecahkan fokus anak. Harapannya dengan solusi ini adalah anak akan fokus dikarenakan permainan kemampuan kognitifnya, bukan terfokus pada desain alatnya.

Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak (Hubungan Biasa)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana data anak aman serta bagaimana keamanan anak selama bermain menggunakan alat yang dibuat berdasarkan standar yang sudah diatur, yaitu pada ISO 8124. Diberi hubungan biasa dikarenakan dalam solusi ini memerlukan *input* data anak seperti nama dan umur yang biasanya bagi orang tua itu adalah hal yang privasi. Namun, dalam solusi ini menggunakan bahan serta material yang aman untuk anak sehingga keamanan anak dapat terjaga. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

2. Solusi 2: Permainan Menemukan Objek menggunakan Sensor Berat

Konstrain Kemampuan Kognitif (Hubungan Biasa)

Hubungan antara konstrain ini diberi hubungan biasa dengan solusi ini dikarenakan pada konstrain ini berfokus pada bagaimana kemampuan kognitif anak dapat dilatih sesuai dengan rentang umur subjek yang berkaitan dengan huruf dan angka. Namun, di satu sisi solusi ini menawarkan metode permainan menemukan angka dan kata menggunakan benda yang akan diukur beratnya terlebih dahulu untuk menjawab pertanyaan. Pengukuran benda menggunakan sensor berat dalam solusi ini cukup *tricky* dikarenakan kalibrasi pada sensor ini cukup susah sehingga berpotensi tidak mencapai pelatihan kemampuan kognitif yang sesuai dengan rentang umur 5-7 tahun.

Konstrain Rentang Fokus Anak (Hubungan Kuat)

Hubungan antara konstrain ini dengan solusi ini diberi hubungan kuat dikarenakan pada solusi ini memiliki sistematika dimana dalam satu kali sesi hanya akan memiliki durasi maksimal 20 menit sesuai dengan durasi fokus ideal pada anak. Dengan adanya sistematika tersebut, maka konsep permainan dibuat menyesuaikan dengan durasi fokus yang ideal pada anak usia 5-7 tahun sehingga diberi hubungan kuat.

Konstrain Lingkungan Penggunaan (Hubungan Kurang)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana lingkungan penggunaan alat memengaruhi fokus atau distraksi anak termasuk juga bagaimana alat itu sendiri akan memecah atau menjaga fokus anak. Diberi hubungan kurang dikarenakan solusi ini melibatkan banyak benda dan desain alat yang cukup unik sehingga berpotensi untuk memecah

fokus anak. Anak akan lebih fokus dengan alat daripada dengan sistematika permainan kemampuan kognitifnya.

Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak (Hubungan Kurang)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana data anak aman serta bagaimana keamanan anak selama bermain menggunakan alat yang dibuat berdasarkan standar yang sudah diatur, yaitu pada ISO 8124. Diberi hubungan kurang dikarenakan dalam solusi ini memerlukan *input* data anak seperti nama dan umur yang biasanya bagi orang tua itu adalah hal yang privasi. Selain itu, dalam solusi ini menggunakan bahan serta material seperti logam untuk sensor berat dan objek-objek lain yang berpotensi tidak cukup aman untuk anak-anak.

3. Solusi 3: Permainan Menemukan Angka dan Kata menggunakan Kamera berbasis *Computer Vision*

Konstrain Kemampuan Kognitif (Hubungan Kuat)

Hubungan antara konstrain ini diberi hubungan kuat dengan solusi ini dikarenakan pada konstrain ini berfokus pada bagaimana kemampuan kognitif anak dapat dilatih sesuai dengan rentang umur subjek yang berkaitan dengan huruf dan angka. Solusi ini menawarkan metode permainan menemukan angka dan kata menggunakan kartu yang nantinya akan diberikan pertanyaan sederhana yang sesuai dengan umur mereka.

Konstrain Rentang Fokus Anak (Hubungan Kuat)

Hubungan antara konstrain ini dengan solusi ini diberi hubungan kuat dikarenakan pada solusi ini memiliki sistematika dimana dalam satu kali sesi hanya akan memiliki durasi maksimal 20 menit sesuai dengan durasi fokus ideal pada anak. Dengan adanya sistematika tersebut, maka konsep permainan dibuat menyesuaikan dengan durasi fokus yang ideal pada anak usia 5-7 tahun sehingga diberi hubungan kuat.

Konstrain Lingkungan Penggunaan (Hubungan Biasa)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana lingkungan penggunaan alat memengaruhi fokus atau distraksi anak termasuk juga bagaimana alat itu sendiri akan memecah atau menjaga fokus anak. Diberi hubungan biasa dikarenakan solusi ini didesain cukup

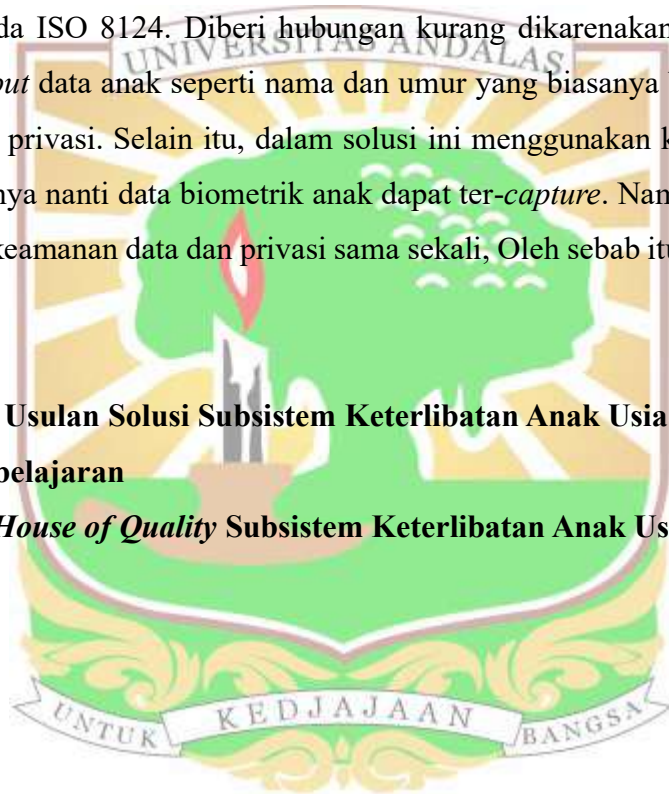
menarik. Harapannya dengan solusi ini adalah anak akan fokus dikarenakan permainan kemampuan kognitifnya, bukan terfokus pada desain alatnya. Namun, dikarenakan ada potensi anak akan cenderung tertarik dengan desain alatnya, hal tersebut mengubah fokus mereka ke desain alat bukan pada permainan kemampuan kognitifnya. Oleh sebab itu diberi hubungan biasa.

Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak (Hubungan Kurang)

Konstrain ini berfokus pada bagaimana data anak aman serta bagaimana keamanan anak selama bermain menggunakan alat yang dibuat berdasarkan standar yang sudah diatur, yaitu pada ISO 8124. Diberi hubungan kurang dikarenakan dalam solusi ini memerlukan *input* data anak seperti nama dan umur yang biasanya bagi orang tua itu adalah hal yang privasi. Selain itu, dalam solusi ini menggunakan kamera yang pada saat pemakaiannya nanti data biometrik anak dapat ter-*capture*. Namun, bukan berarti tidak memiliki keamanan data dan privasi sama sekali, Oleh sebab itu diberi hubungan kurang.

1.2.3.2 Analisis Usulan Solusi Subsistem Keterlibatan Anak Usia 5-7 Tahun Pada Sesi Pembelajaran

Tabel 1. 4 *House of Quality* Subsistem Keterlibatan Anak Usia 5-7 Tahun



House of Quality			↑	↑	↑	↑	Total			
● = Hubungan Kuat (5) ○ = Hubungan Biasa (3) △ = Hubungan Kurang (1) ↑ = Prioritas ↓ = Tidak Prioritas	Importance Rating (1=low, 5=high)	Percent of Importance Rating	Real time monitoring	Sensing capability	Sensing report	Metode Komunikasi		Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
Konstrain Kemampuan Kognitif	3	16%		○				●	△	○
Konstrain Rentang Fokus Anak	5	28%	●	●	●	●		●	●	●
Konstrain Lingkungan Penggunaan	5	28%	○	●	●			⋮	△	○
Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak	5	28%	○	●	○			⋮	△	⋮
Importance Rating			55	84	65	25	229	70	38	64
Percent of Importance			24%	36,6 %	28,3 %	10,9 %	100%	40,7 %	22,1 %	37,2 %
Solusi 1			●	●	○	●	4,42			
Solusi 2			●	○	○	○	3,47			
Solusi 3			●	●	○	○	4,2			

Berdasarkan hasil analisa menggunakan HoQ dari 3 usulan solusi yang diberikan, didapatkan rincian hasil HoQ sebagai berikut :

$$\text{Solusi 1: } (5 \times 24\%) + (5 \times 36,6\%) + (3 \times 28,3\%) + (5 \times 10,9\%) = 4,42$$

$$\text{Solusi 2: } (5 \times 24\%) + (3 \times 36,6\%) + (3 \times 28,3\%) + (3 \times 10,9\%) = 3,47$$

$$\text{Solusi 3: } (5 \times 24\%) + (5 \times 36,6\%) + (3 \times 28,3\%) + (3 \times 10,9\%) = 4,2$$

Solusi 1: Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Berbasis *Computer Vision* dan *MediaPipe*

a. Konstrain Kemampuan Kognitif Anak

Solusi ini menunjukkan keterkaitan yang kuat dengan batasan kemampuan kognitif anak. Sistem dirancang bekerja secara pasif dengan memanfaatkan kamera sebagai alat pemantauan, tanpa memerlukan keterlibatan aktif dari anak. Anak tidak dituntut untuk

memahami mekanisme sistem, mengikuti instruksi tertentu, maupun melakukan tindakan tambahan agar dapat dipantau.

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Hubungan solusi ini dengan konstrain rentang fokus anak juga tergolong kuat. MediaPipe memiliki kemampuan untuk mentoleransi pergerakan alami anak, seperti perubahan posisi, menoleh, atau bergerak sesaat dari area belajar. Sistem tidak serta-merta mengklasifikasikan anak sebagai tidak fokus hanya berdasarkan perubahan singkat, melainkan mempertimbangkan keberadaan anak dalam rentang waktu tertentu.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

Solusi ini memiliki keterkaitan sedang dengan konstrain lingkungan penggunaan. Walaupun MediaPipe cukup adaptif terhadap variasi gerakan dan posisi anak, performa sistem tetap dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pencahayaan, sudut pemasangan kamera, dan kondisi visual ruang belajar. Namun demikian, karena sistem tidak bergantung pada detail visual yang terlalu kompleks, solusi ini masih dapat berfungsi secara cukup stabil pada lingkungan belajar yang sederhana, baik di rumah maupun di kelas.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak

Keterkaitan solusi ini dengan aspek etika dan privasi berada pada tingkat sedang. Penggunaan kamera sebagai sumber data visual tetap menuntut perhatian khusus terhadap perlindungan data anak. Namun, MediaPipe memungkinkan pemrosesan dilakukan secara lokal tanpa perlu menyimpan atau mentransmisikan data citra ke pihak eksternal. Dengan pengaturan yang tepat, risiko terhadap privasi anak dapat diminimalkan sehingga solusi ini masih layak diterapkan secara etis.

Solusi 2: Sistem Pemantauan Durasi Belajar Anak Usia 5-7 Tahun Berbasis Deteksi Keberadaan Menggunakan Logika Fuzzy

a. Konstrain Kemampuan Kognitif Anak

Solusi ini memiliki hubungan yang kuat dengan konstrain kemampuan kognitif anak. Sensor keberadaan bekerja secara otomatis tanpa melibatkan anak dalam proses pemantauan. Anak dapat menjalani aktivitas belajar seperti biasa tanpa harus

menyadari keberadaan sistem, sehingga proses belajar tidak terganggu dan tidak menambah beban kognitif.

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Hubungan solusi ini dengan konstrain rentang fokus anak berada pada tingkat sedang. Sensor hanya memberikan informasi mengenai ada atau tidaknya anak di area belajar, tanpa mampu membedakan apakah anak benar-benar terlibat dalam aktivitas pembelajaran. Akibatnya, sistem kurang sensitif dalam menangkap perubahan fokus yang terjadi ketika anak masih berada di area belajar tetapi perhatiannya teralihkan.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

Solusi ini memiliki keterkaitan yang kuat dengan konstrain lingkungan penggunaan. Sensor keberadaan relatif tidak terpengaruh oleh kondisi pencahayaan maupun latar belakang visual. Dengan demikian, sistem dapat beroperasi secara stabil meskipun lingkungan belajar memiliki variasi cahaya atau kondisi visual yang tidak ideal.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak

Hubungan solusi ini dengan aspek etika dan privasi juga tergolong kuat. Karena tidak melibatkan pengambilan citra wajah atau data visual anak, risiko pelanggaran privasi menjadi jauh lebih rendah. Dari sudut pandang etika, solusi ini dinilai lebih aman, meskipun informasi yang dihasilkan terbatas pada keberadaan fisik anak.

Solusi 3: Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Berbasis Kamera dan Convolutional Neural Network (CNN)

a. Konstrain Kemampuan Kognitif Anak

Solusi ini memiliki hubungan sedang dengan konstrain kemampuan kognitif anak. Walaupun sistem tidak menuntut interaksi langsung dari anak, penggunaan CNN umumnya memerlukan kondisi pengambilan data yang lebih terkontrol agar hasil deteksi tetap stabil. Kondisi tersebut berpotensi membatasi kebebasan gerak anak selama sesi pembelajaran.

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Hubungan solusi ini dengan konstrain rentang fokus anak berada pada tingkat sedang. CNN mampu mengenali pola visual secara mendalam, namun cenderung sensitif terhadap perubahan posisi atau ekspresi yang terjadi dengan cepat. Pada anak usia dini yang memiliki perilaku aktif, kondisi ini dapat menyebabkan hasil deteksi menjadi kurang konsisten apabila sistem tidak dioptimalkan dengan baik.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

Solusi ini memiliki keterkaitan lemah hingga sedang dengan konstrain lingkungan penggunaan. Performa CNN sangat bergantung pada kesesuaian kondisi lingkungan saat penggunaan dengan data pelatihan. Perubahan pencahayaan, sudut kamera, atau latar belakang dapat menurunkan akurasi sistem secara signifikan.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak

Keterkaitan dengan aspek etika dan privasi berada pada tingkat sedang. Penggunaan CNN umumnya melibatkan pengolahan dan penyimpanan data visual dalam jumlah besar, sehingga potensi risiko terhadap privasi anak lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme perlindungan data yang lebih kompleks agar sistem dapat diterapkan secara aman dan etis.

Solusi 1: Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Berbasis Computer Vision dan MediaPipe

a. *Real-Time Monitoring*

Solusi ini memiliki hubungan yang kuat dengan kebutuhan pemantauan secara real-time. MediaPipe mampu mengolah data visual dari kamera secara langsung dan berkesinambungan, sehingga keberadaan anak dapat dipantau sepanjang sesi pembelajaran tanpa jeda yang berarti. Sistem mencatat perubahan kondisi anak, misalnya ketika anak bergeser dari posisi belajar atau meninggalkan area belajar.

b. *Sensing Capability*

Hubungan antara solusi ini dan kemampuan sensing tergolong kuat. MediaPipe menyediakan modul deteksi wajah dan tubuh yang relatif stabil serta toleran terhadap pergerakan alami anak. Sistem tetap dapat mendeteksi keberadaan anak meskipun terjadi perubahan posisi kepala atau gerakan ringan, sehingga data yang diperoleh menjadi lebih konsisten dan representatif.

c. *Sensing Report*

Solusi ini juga memiliki hubungan yang biasa dengan fitur sensing report. Informasi hasil deteksi keberadaan anak dapat diakumulasi secara langsung untuk menghitung durasi keterlibatan selama satu sesi pembelajaran. Data tersebut kemudian dapat disajikan dalam bentuk rekap sederhana yang mudah dipahami oleh orang tua atau pendamping belajar. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga mampu menghasilkan laporan yang informatif dan relevan.

d. Metode Komputasi

Hubungan solusi ini dengan metode komputasi dinilai kuat. *MediaPipe* dirancang sebagai framework yang ringan, modular, dan dapat digunakan tanpa proses pelatihan model tambahan. Pemrosesan dapat dilakukan secara lokal dengan beban komputasi yang relatif rendah, sehingga lebih sesuai untuk lingkungan belajar anak dan lebih aman dari sisi privasi.

Solusi 2: Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Berbasis Sensor Keberadaan

a. Real-Time Monitoring

Solusi ini memiliki keterkaitan sedang dengan fitur real-time monitoring. Sensor keberadaan mampu mendeteksi apakah anak masih berada di area belajar secara langsung. Namun, informasi yang diperoleh terbatas pada status hadir atau tidak hadir, tanpa konteks tambahan mengenai aktivitas anak.

b. Sensing Capability

Hubungan dengan kemampuan sensing berada pada tingkat sedang. Sensor dapat mendeteksi keberadaan fisik anak, tetapi tidak mampu memberikan gambaran apakah anak benar-benar terlibat dalam aktivitas belajar. Keterbatasan ini membuat solusi kurang adaptif dalam menghadapi perilaku anak yang mudah terdistraksi.

c. Sensing Report

Keterkaitan solusi ini dengan sensing report juga tergolong sedang. Data yang dihasilkan sensor dapat digunakan untuk menghitung durasi keberadaan anak, namun laporan yang dihasilkan bersifat sangat sederhana dan belum sepenuhnya mencerminkan tingkat keterlibatan belajar.

d. Metode Komputasi

Hubungan solusi ini dengan metode komputasi tergolong kuat. Sensor keberadaan tidak membutuhkan proses komputasi yang kompleks, sehingga sistem dapat dijalankan dengan sumber daya yang minimal. Dari sisi efisiensi, solusi ini cukup unggul, namun hal tersebut dicapai dengan mengorbankan kekayaan informasi yang diperoleh dari sistem.

Solusi 3: Sistem Pemantauan Keterlibatan Anak Berbasis Kamera dan Convolutional Neural Network (CNN)

a. Real-Time Monitoring

Solusi ini memiliki hubungan yang kuat dengan pemantauan real-time karena CNN mampu melakukan inferensi dari data visual secara berkelanjutan. Namun, kecepatan dan kestabilan pemantauan sangat bergantung pada kemampuan perangkat keras yang digunakan. Apabila sumber daya komputasi tidak memadai, proses pemantauan dapat mengalami keterlambatan.

b. Sensing Capability

Keterkaitan dengan sensing capability tergolong kuat. CNN mampu mengekstraksi fitur visual yang kompleks dari citra kamera, sehingga secara teoritis dapat mendeteksi keberadaan anak dengan tingkat detail yang tinggi. Akan tetapi, performa sistem sangat dipengaruhi oleh kualitas data pelatihan serta kondisi lingkungan saat sistem dioperasikan.

c. Sensing Report

Solusi ini memiliki hubungan sedang dengan sensing report. Hasil klasifikasi dari CNN dapat diolah menjadi informasi durasi keterlibatan anak, namun proses pelaporan bukan merupakan fokus utama dari pendekatan ini. Oleh karena itu, diperlukan komponen tambahan agar hasil pemantauan dapat disajikan dalam bentuk laporan yang sederhana dan mudah dipahami.

d. MetodeKomputasi

Hubungan solusi ini dengan metode komputasi berada pada tingkat sedang hingga lemah. CNN membutuhkan sumber daya komputasi yang cukup besar, baik pada tahap pelatihan maupun saat inferensi. Selain itu, penggunaan data visual anak dalam jumlah besar juga menimbulkan tantangan dari sisi privasi dan keamanan data, sehingga solusi ini dinilai kurang ideal untuk lingkungan belajar anak usia dini.

1.2.3.3 Analisis Usulan Solusi Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Setelah menentukan tiga solusi sebelumnya, maka dapat dilakukan analisis terhadap usulan-usulan solusi tersebut menggunakan prinsip HoQ.

Tabel 1. 5 House of Quality Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Fitur Dasar	Importance Rating	Rating Percentage	▲ Sensing Capability	▲ Data Processing	▲ Computing Capability	▲ Session Report				
Konstrain								Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
Konstrain Kemampuan Kognitif	5	28%	○	⊙	○	○		⊙	○	○
Konstrain Rentang Fokus Anak	5	28%	⊙	⊙	⊙	○		⊙	○	⊙
Konstrain Lingkungan Penggunaan	3	17%	⊙	○	○			○	⊙	○
Konstrain Etika, Privasi, dan Kemampuan Anak	5	28%	○			⊙		○	○	○
Importance Rating			70	59	55	55	239	74	60	64
Rating Percentage			29%	25%	23%	23%	100%	37%	30%	33%
Solusi 1			⊙	⊙	○	○	4.08	△	1	
Solusi 2			○	○	⊙	○	3.46	○	3	
Solusi 3			○	⊙	○	○	3.5	⊙	5	

Berdasarkan hasil analisa menggunakan HoQ dari 3 usulan solusi yang diberikan, didapatkan rincian hasil HoQ sebagai berikut.

Solusi 1: $(5 \times 29\%) + (5 \times 25\%) + (3 \times 23\%) + (3 \times 23\%) = 4.08$

Solusi 2: $(3 \times 29\%) + (3 \times 25\%) + (5 \times 23\%) + (3 \times 23\%) = 3.46$

Solusi 3: $(3 \times 29\%) + (5 \times 25\%) + (3 \times 23\%) + (3 \times 23\%) = 3.50$

Berikut rincian masing-masing fitur terhadap kebutuhan sistem dan pengguna dengan menggunakan HoQ.

a. Sensing Capability

Fitur ini prioritas karena sistem yang diusulkan harus dapat mengakuisisi data dengan tepat mengenai keadaan anak selama proses pembelajaran. Data utama yang dikumpulkan adalah citra wajah (ekspresi wajah) yang menjadi dasar untuk menetapkan tingkat perhatian anak. Jika kemampuan sensing tidak maksimal, seluruh proses analisis berikutnya akan terpengaruh dan berpotensi menghasilkan kesalahan dalam klasifikasi fokus.

b. Data Processing

Fitur ini prioritas karena data mentah yang dihasilkan oleh kamera tidak bisa digunakan langsung tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan data yang tepat

dapat meningkatkan ketepatan sistem dalam membedakan antara kondisi fokus dan tidak fokus, serta mengurangi dampak noise yang disebabkan oleh pencahayaan, gerakan kecil, atau gangguan lingkungan lain

c. Computing Capability

Fitur ini prioritas karena sistem harus mampu menjalankan proses komputasi pembelajaran mesin secara efisien dan responsif. Tanpa kemampuan komputasi yang memadai, sistem akan mengalami keterlambatan respon yang dapat mengurangi kegunaan sistem dalam konteks pemantauan fokus anak di lingkungan belajar.

d. Session Report

Fitur ini prioritas karena hasil pemantauan fokus anak perlu disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami oleh orang tua. Laporan sesi memungkinkan pengguna untuk melihat pola fokus anak selama satu periode pembelajaran.

Analisis Solusi Terhadap Fitur Dasar

1. Solusi 1: Sistem Deteksi Fokus Anak Berbasis Convolutional Neural Network (CNN)

a. Sensing Capability

Solusi ini memiliki hubungan yang erat dengan fitur sensing capability karena kinerja sistem sangat bergantung pada kualitas input visual berupa citra wajah anak. Sistem memerlukan data visual yang jelas, stabil, dan konsisten agar pola ekspresi wajah dapat dikenali dengan baik. Oleh karena itu, kemampuan sistem dalam menangkap data visual yang representatif menjadi faktor utama keberhasilan solusi ini.

b. Data Processing

Solusi ini memerlukan proses pengolahan data yang mendalam, mulai dari prapemrosesan gambar, ekstraksi fitur, hingga proses klasifikasi yang terfokus. Setiap langkah tersebut memerlukan jalur pemrosesan data yang terorganisir dan terpercaya. Oleh karena itu, hubungan antara solusi ini dan fitur data processing tergolong kuat.

c. Computing Capability

Solusi ini membutuhkan sumber daya komputasi yang cukup untuk menjalankan pemrosesan dan inferensi model, namun tidak harus berada pada tingkat komputasi

yang sangat tinggi apabila sistem dirancang secara efisien atau dijalankan secara terpusat. Oleh karena itu, hubungan dengan computing capability dinilai sedang.

d. Session Report

Solusi ini mampu memberikan informasi tentang tingkat konsentrasi anak selama sesi, tetapi fungsi pelaporan bukanlah fokus utama dari mekanisme deteksi. Sebagai hasilnya, keterkaitan antara solusi ini dan fitur laporan sesi berada pada tingkatan menengah

2. Solusi 2: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis Facial Landmark dan Support Vector Machine (SVM)

a. Sensing Capability

Solusi ini memerlukan input visual untuk mengidentifikasi titik-titik landmark wajah, tetapi ketergantungannya pada kualitas gambar tidak sekuat solusi pertama karena yang diperiksa adalah titik-titik geometris, bukan keseluruhan citra. Sehingga, keterkaitan dengan kemampuan sensing berada pada tingkat yang sedang.

b. Data Processing

Solusi ini memerlukan pengolahan data yang mencakup deteksi landmark, normalisasi posisi wajah, dan ekstraksi ciri geometris sebelum klasifikasi dilakukan. Namun, kompleksitas pemrosesannya cenderung lebih mudah dibandingkan dengan solusi yang menggunakan pemrosesan citra secara penuh, sehingga keterkaitannya dengan pengolahan data dianggap sedang.

c. Computing Capability

Solusi ini sangat terkait dengan kemampuan komputasi karena sistem perlu mendeteksi landmark dengan tepat dan terus-menerus, serta melaksanakan proses klasifikasi secara responsif dalam waktu nyata. Keterbatasan dalam komputasi dapat secara langsung memengaruhi stabilitas serta kecepatan sistem, menjadikan fitur ini sangat krusial.

d. Session Report

Solusi ini dapat digunakan untuk menghasilkan laporan tingkat fokus berdasarkan pola landmark, namun pelaporan bukan merupakan fungsi utama sistem. Oleh karena itu, hubungannya dengan session report bersifat sedang.

3. Solusi 3: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis Temporal Convolutional Network (TCN)

a. Sensing Capability

Solusi ini memanfaatkan rangkaian data ekspresi wajah seiring waktu, sehingga memerlukan data visual yang konsisten, tetapi perhatian utamanya terletak pada pola perubahan temporal, bukan hanya kualitas gambar individual. Karena itu, penilaian hubungan dengan kemampuan sensing sedang.

b. Data Processing

Solusi ini sangat bergantung pada pengolahan data waktu, yaitu pengorganisasian data berurutan, pengelolaan konteks waktu, dan pengekstrakan pola perubahan ekspresi. Sebagai akibatnya, fitur pemrosesan data memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan solusi ini

c. Computing Capability

Solusi ini memerlukan komputasi untuk memproses data berurutan dan melakukan inferensi model, namun masih dapat dioptimalkan agar berjalan secara efisien. Oleh karena itu, hubungan dengan computing capability berada pada tingkat sedang.

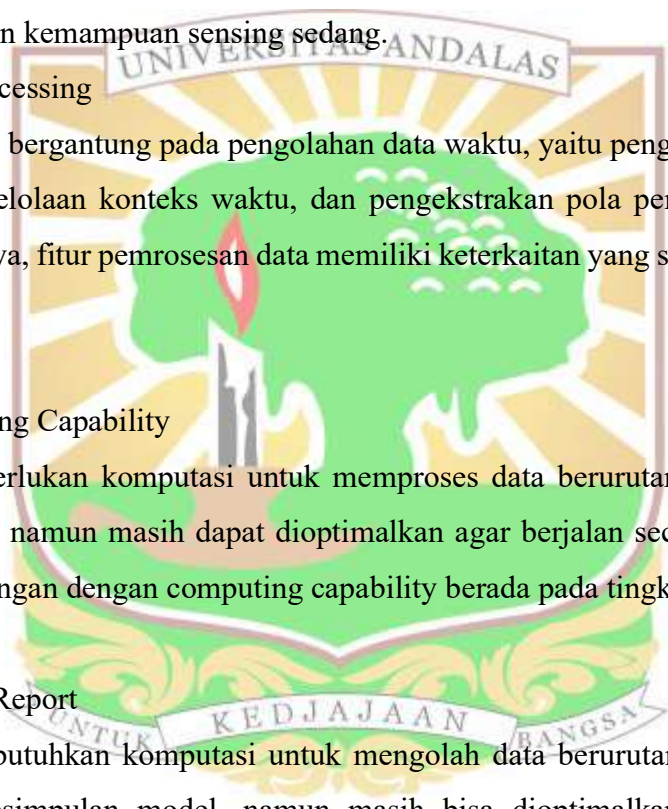
d. Session Report

Solusi ini membutuhkan komputasi untuk mengolah data berurutan dan melakukan pengambilan kesimpulan model, namun masih bisa dioptimalkan agar berfungsi dengan efisien. Karenanya, keterkaitan dengan kemampuan komputasi berada pada level menengah

Analisis Solusi Terhadap Konstrain

1. Solusi 1: Sistem Deteksi Fokus Anak Berbasis Convolutional Neural Network (CNN)

a. Konstrain Kemampuan Kognitif



Solusi ini berhubungan erat dengan batasan kemampuan kognitif karena sistem ini dirancang untuk mendeteksi pola ekspresi wajah anak sebagai indikator tingkat keterlibatan mental tanpa memerlukan anak untuk melakukan aktivitas tambahan. Anak tidak harus memberikan tanggapan secara lisan maupun melakukan aksi tertentu agar dapat dipantau oleh sistem. Oleh karena itu, sistem tetap sesuai dengan batasan kemampuan kognitif anak-anak usia dini dan tidak mengganggu maupun memberatkan proses belajar yang berlangsung

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Sistem mampu mendeteksi perubahan ekspresi secara cepat dan berkelanjutan, sehingga dapat menyesuaikan diri dengan rentang fokus anak yang relatif pendek dan mudah berubah. Kemampuan ini memungkinkan sistem mengidentifikasi penurunan fokus secara dini tanpa harus menunggu perubahan perilaku yang signifikan.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

Solusi ini masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pencahayaan, posisi kamera, dan keberadaan gangguan visual di latar belakang. Walaupun sistem dapat dirancang agar cukup robust, faktor lingkungan tetap berpengaruh terhadap kualitas input visual, sehingga hubungannya bersifat sedang.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Kemampuan Anak

Penggunaan data visual wajah anak menimbulkan isu privasi dan etika yang perlu ditangani secara khusus melalui mekanisme pengamanan data dan persetujuan orang tua. Oleh karena itu, meskipun sistem dapat diatur agar aman, hubungan dengan konstrain ini tetap berada pada tingkat sedang.

2. Solusi 2: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis Facial Landmark dan Support Vector Machine (SVM)

a. Konstrain Kemampuan Kognitif

Pemanfaatan data visual wajah anak menimbulkan masalah privasi dan etika yang harus ditangani secara khusus melalui sistem perlindungan data dan persetujuan dari

orang tua. Oleh sebab itu, walaupun sistem dapat diatur untuk aman, keterhubungan dengan batasan ini tetap berada pada tingkat menengah

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Karena solusi ini menganalisis ekspresi secara lebih statis, kemampuannya dalam menangkap perubahan fokus yang cepat masih terbatas. Hal ini membuat hubungan dengan konstrain rentang fokus anak berada pada tingkat sedang.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

Solusi ini cenderung lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan seperti variasi pencahayaan dan latar belakang karena yang dianalisis adalah konfigurasi geometris wajah, bukan keseluruhan tekstur gambar. Sehingga, hubungan dengan batasan lingkungan pemakaian dinilai kuat.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Kemampuan Anak

Solusi ini cenderung lebih responsif terhadap perubahan lingkungan seperti variasi cahaya dan latar belakang karena yang dianalisis adalah konfigurasi geometris wajah, bukan totalitas tekstur gambar. Akibatnya, hubungan dengan batasan lingkungan penggunaan dianggap kuat

3. Solusi 3: Sistem Pendeteksi Fokus Anak Berbasis Temporal Convolutional Network (TCN)

a. Konstrain Kemampuan Kognitif

Solusi ini mengamati pola perubahan ekspresi dari waktu ke waktu tanpa memerlukan interaksi aktif anak, sehingga tetap sesuai secara umum. Namun, interpretasi fokus berdasarkan dinamika ekspresi memerlukan data yang relatif konsisten, yang tidak selalu sejalan dengan variasi alami perilaku anak usia dini, sehingga hubungannya bersifat sedang.

b. Konstrain Rentang Fokus Anak

Solusi ini mengamati pola perubahan ekspresi dari waktu ke waktu tanpa memerlukan interaksi aktif anak, sehingga tetap sesuai secara umum. Namun, interpretasi fokus

berdasarkan dinamika ekspresi memerlukan data yang relatif konsisten, yang tidak selalu sejalan dengan variasi alami perilaku anak usia dini, sehingga hubungannya bersifat sedang.

c. Konstrain Lingkungan Penggunaan

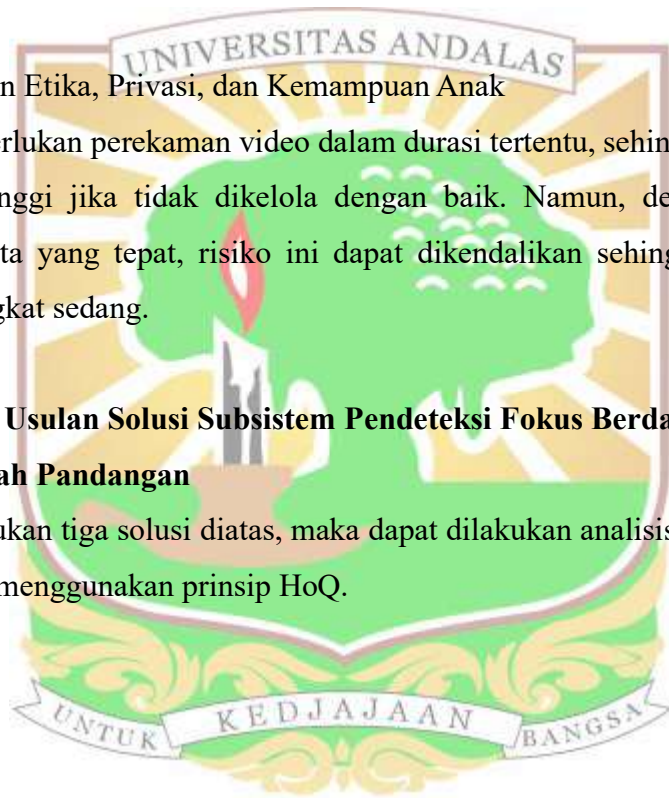
Solusi ini sangat sesuai untuk menangkap perubahan fokus yang bersifat dinamis dan temporal. Dengan mempelajari urutan ekspresi, sistem mampu mendeteksi fluktuasi fokus yang cepat dan tidak stabil, sehingga hubungannya dengan konstrain rentang fokus anak dinilai kuat.

d. Konstrain Etika, Privasi, dan Kemampuan Anak

Solusi ini memerlukan perekaman video dalam durasi tertentu, sehingga potensi risiko privasi lebih tinggi jika tidak dikelola dengan baik. Namun, dengan mekanisme pengamanan data yang tepat, risiko ini dapat dikendalikan sehingga hubungannya berada pada tingkat sedang.

1.2.3.4 Analisis Usulan Solusi Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

Setelah menentukan tiga solusi diatas, maka dapat dilakukan analisis terhadap usulan-usulan tersebut menggunakan prinsip HoQ.



Tabel 1. 6 House of Quality Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

	House of Quality			↑	↑	↑	↑	Total	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
	● = Hubungan Kuat (5) ○ = Hubungan Biasa (3) △ = Hubungan Kurang (1) ↑ = Prioritas ↓ = Tidak Prioritas	Importance Rating (1=low, 5=high)	Percent of Importance Rating	Sensing Capability	Computing Performance	Data Processing	Sensing Report				
Konstrain	Konstrain Kemampuan Kognitif	3	16%	○					●	●	●
	Konstrain Rentang Fokus Anak	5	28%	●	●	○	○		●	●	○
	Konstrain Lingkungan Penggunaan	5	28%	●	○	○	○		●	○	△
	Konstrain Etika, Privasi, dan Keamanan Anak	5	28%	●			○		△	△	○
	Importance Rating			85	40	30	45	200	70	60	50
	Percent of Importance			43%	20%	15%	22 %	100%	39%	33%	28%
	Solusi 1			●	●	●	●	5,00			
	Solusi 2			○	●	●	●	4,14			
	Solusi 3			○	●	●	●	4,14			

Berdasarkan hasil analisa menggunakan HoQ untuk ketiga solusi diatas, didapatkan untuk perhitungan akhir masing-masing solusi yaitu.

Solusi 1:

$$(5 \times 43\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 15\%) + (5 \times 22\%) = 5,00 \text{ Solusi 2:}$$

$$(3 \times 43\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 15\%) + (5 \times 22\%) = 4,14 \text{ Solusi 3}$$

$$(3 \times 43\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 15\%) + (5 \times 22\%) = 4,14$$

Berikut merupakan rincian dari masing-masing perhitungan nilai dengan solusi yang telah dijabarkan.

Hubungan solusi 1 terhadap fitur dasar

1. Sensing capability

Solusi 1 memiliki hubungan yang sangat kuat dengan fitur *sensing capability* karena mampu mendeteksi frekuensi gerakan kepala dan arah pandangan anak secara konsisten selama proses belajar. Hal ini karena penggunaan kamera yang memberikan data yang jelas dan pasti.

2. Computing performance

Pada fitur ini, solusi 1 mampu melakukan proses komputasi secara real-time untuk menentukan kondisi fokus atau tidak fokus anak. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan SBC yang dapat memberikan hasil pengolahan data dengan cepat.

3. Data processing

Solusi 1 menunjukkan hubungan yang kuat pada fitur *data processing* karena sistem dapat memproses data dengan menggunakan computer vision. Yang dengan mudah menganalisis data yang masuk untuk klasifikasi anak fokus atau tidak fokus.

4. Sensing report

Pada fitur dasar yang terakhir ini, solusi 1 dapat dengan mudah memberikan hasil monitoring kepada orang tua anak dikarenakan SBC yang digunakan sudah memiliki modul WiFi untuk mengirimkan data.

Hubungan solusi 1 terhadap konstrain

1. Konstrain kemampuan kognitif

Solusi 1 sesuai dengan konstrain kemampuan kognitif anak usia 5–7 tahun karena sistem hanya berfungsi sebagai alat monitoring.

2. Konstrain rentang fokus anak

Solusi 1 sudah dapat melakukan monitoring fokus anak dalam durasi yang sudah ditentukan.

3. Konstrain lingkungan penggunaan

Solusi 1 tidak menimbulkan suara yang berisik maupun hal yang dapat mengalihkan anak sehingga tidak mengganggu fokus anak.

Konstrain etika, privasi, dan keamanan anak

Karena menggunakan kamera, maka solusi 1 dapat mengambil data anak berupa wajah, sehingga sebagian orang tua mungkin akan merasa tidak aman dengan data anak yang terdeteksi.

Hubungan solusi 2 terhadap fitur dasar

1. Sensing capability

Solusi 2 menggunakan gabungan kamera dan sensor IMU yang membuat hasil salah satu deteksi menjadi tidak optimal, hal ini karena data dari sensor perlu dikalibrasi dan juga dari sisi kejelasan, data sensor kurang bisa dilihat dari data yang berasal dari kamera.

2. Computing performance

Pada fitur *computing performance*, meskipun terdapat tambahan sensor, solusi 2 masih dapat melakukan komputasi menggunakan SBC untuk menentukan kondisi fokus anak, sama dengan solusi pertama.

3. Data processing

Untuk fitur *data processing* data yang dihasilkan dari penggunaan masih dapat diproses dengan mudah menggunakan gabungan algoritma computer vision dan fuzzy logic.

4. Sensing report

Solusi 2 memiliki kemampuan yang sama untuk memberikan laporan anak fokus atau tidak, sama seperti solusi 1.

Hubungan solusi 2 terhadap konstrain

1. Konstrain kemampuan kognitif

Solusi 2 sudah bisa memberikan hasil kemampuan kognitif anak berdasarkan hasil gabungan kamera dan sensor IMU.

2. Konstrain rentang fokus anak

Karena menggunakan kamera dan tambahan sensor, maka solusi 2 dapat melakukan deteksi untuk lama rentang fokus anak.

3. Konstrain lingkungan penggunaan

Solusi 2 dapat digunakan di lingkungan rumah atau ruang belajar, karena kamera tidak mengganggu fokus anak namun sensor IMU harus dipasang secara langsung dengan anak yang dapat mengganggu aktifitas belajar anak.

Konstrain etika, privasi, dan keamanan anak

Solusi 2 masih menggunakan kamera yang dapat membuat sebagian orang tua merasa tidak nyaman wajah anaknya dijadikan objek deteksi.

Hubungan solusi 3 terhadap fitur dasar

1. *Sensing capability*

Untuk solusi ini menggunakan sensor yang sudah dapat mendeteksi anak memalingkan dan menggelengkan kepala serta apakah anak memerhatikan saat proses belajar, namun penggunaan sensor memiliki kelemahan dari keakuratan sisi deteksi.

2. *Computing performance*

Solusi 3 sama dengan solusi lainnya yaitu memiliki kemampuan pemrosesan yang memadai untuk menentukan kondisi fokus anak karena sanggup dijalankan dengan SBC.

3. *Data processing*

Pada fitur *data processing* komponen yang digunakan dapat menghasilkan data untuk mendeteksi fokus anak berdasarkan gerakan kepala dan arah pandangan yang nanti akan digabungkan menggunakan algoritma fuzzy logic.

4. *Sensing report*

Solusi 3 dapat memberikan hasil deteksi dalam bentuk *report*, sama seperti dengan dua solusi sebelumnya.

Hubungan solusi 3 terhadap konstrain

1. Konstrain kemampuan kognitif

Solusi 3 sangat sesuai dengan konstrain kemampuan kognitif anak karena sistem dirancang sederhana dan tidak memerlukan interaksi aktif dari anak.

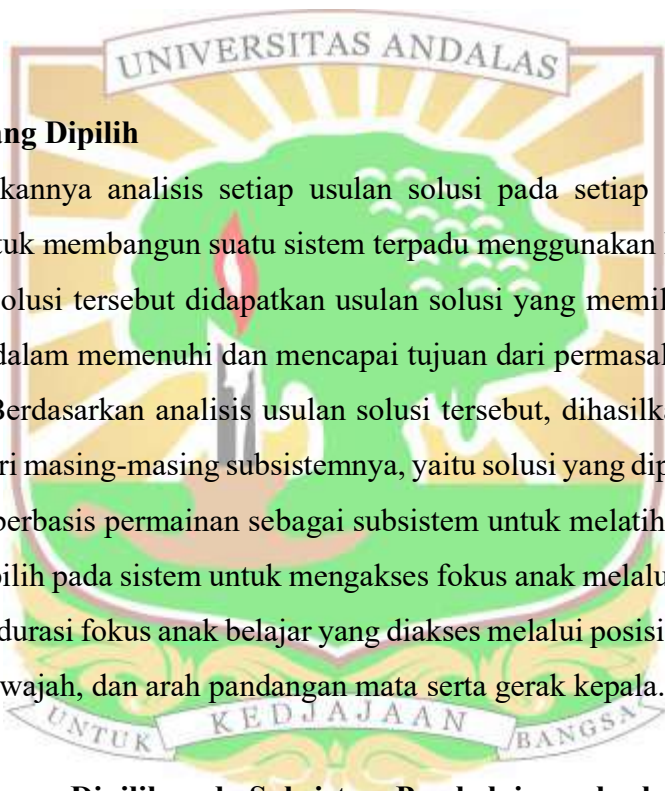
2. Konstrain rentang fokus anak

Solusi 3 mampu memonitor fokus anak dalam durasi yang ditentukan, meskipun dengan tingkat detail pemantauan yang lebih rendah.

3. Konstrain lingkungan penggunaan

Solusi 3 dapat digunakan di lingkungan rumah atau ruang belajar, namun penggunaan alat bersifat *wearable* yang dapat mengganggu proses belajar anak.

Konstrain etika, privasi, dan keamanan anak Solusi 3 memberikan privasi yang baik bagi anak dikarenakan tidak ada data sensitif yang diambil maupun dikirim oleh sistem.



1.2.4 Solusi yang Dipilih

Setelah dilakukannya analisis setiap usulan solusi pada setiap subsistem yang dibutuhkan untuk membangun suatu sistem terpadu menggunakan HoQ, maka dari setiap usulan solusi tersebut didapatkan usulan solusi yang memiliki nilai terkuat hubungannya dalam memenuhi dan mencapai tujuan dari permasalahan yang akan diselesaikan. Berdasarkan analisis usulan solusi tersebut, dihasilkan empat solusi yang dipilih dari masing-masing subsistemnya, yaitu solusi yang dipilih pada sistem pembelajaran berbasis permainan sebagai subsistem untuk melatih fokus anak dan solusi yang dipilih pada sistem untuk mengakses fokus anak melalui tiga parameter berbeda, yaitu durasi fokus anak belajar yang diakses melalui posisi dan keberadaan anak, ekspresi wajah, dan arah pandangan mata serta gerak kepala.

1.2.4.1 Solusi yang Dipilih pada Subsistem Pembelajaran berbasis Permainan

Berdasarkan hasil analisis solusi yang diusulkan menggunakan HoQ, didapatkan poin tertinggi adalah pada Solusi 1, yaitu hubungannya terhadap fitur dasar memiliki nilai 4.44 dan pada konstrain memiliki nilai 80. Sehingga jika dijumlah nilai keduanya menjadi nilai tertinggi di antara dua solusi lainnya.

Solusi 1 mengusulkan penggunaan kartu RFID sebagai alat *sensing* dalam mendeteksi huruf dan angka yang akan dimainkan oleh anak. Kartu RFID akan discan pada RFID *reader* untuk dideteksi huruf dan angka oleh sistem. Selanjutnya

sistem akan mengkalkulasikan jawaban yang diberikan oleh anak. Apabila jawaban yang diberikan benar, maka LED hijau akan menyala dan apabila jawaban salah maka LED merah yang akan menyala. Setelah soal dijawab dengan benar, maka akan berganti ke soal berikutnya. Ketika salah dalam menjawab soal, maka akan diberi kesempatan 2 kali mengulang menjawab dan apabila masih salah maka akan langsung diberikan soal berikutnya. Begitu seterusnya selama satu kali sesi bermain, yaitu dengan durasi bermain maksimal 18 menit. Dalam satu kali sesi tersebut, sistem akan mengukur durasi anak menjawab soal dengan benar serta memeriksa jawaban benar anak. Lalu dengan algoritma *Q-Learning* maka sistem akan belajar berdasarkan durasi dalam menjawab soal yang benar dan jawaban benar untuk mengambil keputusan apakah tingkat soal berikutnya yang diberikan akan semakin susah atau tetap mudah. Pada akhir sesi bermain akan terlihat berapa lama durasi anak bermain dan skor yang ia dapat berdasarkan jumlah jawaban benar selama bermain. Durasi anak bermain dan skor yang didapatkan akan tersimpan di website sebagai mekanisme progress monitoring sehingga dapat dilihat hari demi hari apakah engagement seorang anak terhadap belajar matematika meningkat atau tidak dengan adanya solusi yang ditawarkan ini. Sebelum bermain, seorang anak harus terdaftar terlebih dahulu di dalam sistem agar sistem dapat menampilkan soal sesuai dengan kelompok kelas anak. Solusi ini terpilih dikarenakan solusi ini mampu mendeteksi huruf dan angka dengan baik, memberikan pengalaman yang tetap interaktif bagi anak-anak dengan bermain menggunakan kartu, serta minim dengan screentime sehingga anak dapat meningkatkan engagement dalam belajar untuk menjaga dan melatih fokus mereka

1.2.4.2 Solusi yang Dipilih pada Subsistem penghitung durasi fokus belajar pada anak

Berdasarkan hasil analisis House of Quality (HoQ), solusi yang terpilih adalah Sistem Pemantauan Durasi Fokus Belajar Anak Berbasis Computer Vision dan MediaPipe. Solusi ini memperoleh nilai tertinggi karena paling mampu memenuhi kebutuhan sistem sekaligus selaras dengan konstrain yang ditetapkan. Penggunaan kamera dapat memantau keterlibatan anak secara real-time. Penerapan computer

vision pada sistem dapat mengolah data visual untuk mendeteksi keberadaan anak selama sesi pembelajaran berlangsung, sehingga durasi fokus belajar pada anak. MediaPipe dipilih karena mampu melakukan pemrosesan visual secara ringan dan stabil, serta toleran terhadap pergerakan alami anak, seperti berpindah posisi atau bergerak sesaat, tanpa langsung mengklasifikasikan anak sebagai meninggalkan sesi belajar.

1.2.4.3 Solusi yang Dipilih pada Subsystem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Ekspresi Wajah

Berdasarkan hasil analisis solusi yang didapat dengan HoQ, diperoleh bahwa solusi 1 “Sistem Deteksi Fokus Anak Berbasis Convolutional Neural Network (CNN)” memiliki hubungan tertinggi terhadap fitur dasar dan juga konstrain dibandingkan dua solusi lainnya. Solusi ini mengusulkan penggunaan kamera untuk memantau ekspresi wajah anak selagi sesi pembelajaran berlangsung. Kamera ditempatkan di area belajar dengan sudut pandang yang menghadap wajah anak, sehingga dapat menangkap citra wajah tanpa mengganggu aktivitas belajar. Citra wajah yang diperoleh selanjutnya diproses oleh sistem untuk mengekstraksi ciri-ciri visual yang berkaitan dengan kondisi fokus, seperti perubahan pada area mata, alis, dan mulut. Berdasarkan ciri-ciri tersebut, sistem mengklasifikasikan kondisi anak ke dalam keadaan fokus atau tidak fokus secara otomatis dan real-time, tanpa memerlukan interaksi langsung dari anak.

Selama satu sesi pembelajaran, sistem mencatat hasil deteksi fokus, sehingga dapat diketahui durasi anak berada dalam kondisi fokus, frekuensi perubahan fokus, serta pola perhatian anak sepanjang sesi berlangsung. Data ini kemudian diolah menjadi laporan sesi yang menampilkan ringkasan keterlibatan anak selama belajar, seperti total durasi fokus, jumlah gangguan perhatian, serta tren fokus dari waktu ke waktu. Laporan ini dapat diakses oleh orang tua sebagai dasar evaluasi untuk memahami perkembangan perhatian anak dan menyesuaikan strategi pembelajaran yang digunakan.

1.2.4.4 Solusi yang Dipilih pada Subsistem Pendeteksi Fokus Berdasarkan Gerakan Kepala dan Arah Pandangan

Berdasarkan nilai yang didapat dari analisis HoQ, solusi yang dipilih yaitu solusi pertama ” Sistem Pendeteksi Gerakan Kepala dan Arah Pandangan Anak Berbasis Kamera dan Computer Vision”. Hal ini dikarenakan kemampuan kamera yang dapat mendeteksi tanpa memerlukan perangkat *wearable* yang dapat mengganggu anak saat proses belajar berlangsung. Kamera juga memungkinkan untuk mendeteksi dalam cangkupan yang luas serta untuk kepentingan pendeteksian gerakan kepala dan arah pandangan, kamera memberikan hasil deteksi yang lebih jelas dan akurat dibandingkan dengan penggunaan sensor.

