

**ANALISIS LAJU PERUBAHAN $KMNO_4$ TERHADAP PERBEDAAN
FORMALIN PADA MAKANAN BEKU MENGGUNAKAN METODE
CITRA SAMPEL**

(Skripsi)

Oleh

**FEBY CAHYA MUSTIKA
NPM 1957041003**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS LAJU PERUBAHAN KMNO_4 TERHADAP PERBEDAAN
FORMALIN PADA MAKANAN BEKU MENGGUNAKAN METODE
CITRA SAMPEL**

Oleh

FEBY CAHYA MUSTIKA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakulta Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS LAJU PERUBAHAN KMnO_4 TERHADAP PERBEDAAN FORMALIN PADA MAKANAN BEKU MENGGUNAKAN METODE CITRA SAMPEL

Oleh

FEBY CAHYA MUSTIKA

Analisis Laju Perubahan KMnO_4 Terhadap Perbedaan Formalin Pada Makanan Beku Menggunakan Metode Citra Sampel telah selesai direalisasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan adanya kandungan formalin pada makanan terutama makanan beku. Dengan menggunakan metode pengambilan citra RGB dan reaksi oksidasi pada KMnO_4 dengan formalin. Sistem deteksi menggunakan kamera berbasis CMOS yang berada di *smartphone* sebagai sensor warna, tiga buah LED sebagai sumber cahaya, baterai 9 V, cermin dan cawan petri sebagai wadah sampel. sampel yang digunakan berupa *crabstick* dan bakso sapi dengan variasi konsentrasi formalin 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm dan 150 ppm. Pada sampel *crabstick*, nilai *blue* menurun dari sekitar 194 pada 0 ppm menjadi sekitar 51 pada 150 ppm, sedangkan pada bakso sapi menurun dari sekitar 187 menjadi 42. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar formalin maka semakin rendah nilai kanal *blue* yang diperoleh. Hubungan tersebut membuktikan bahwa metode pengolahan citra digital berbasis RGB dapat digunakan sebagai metode deteksi formalin karena mampu menunjukkan sampel yang mengandung formalin dengan yang tidak.

Kata kunci: CMOS, Formaldehyde, Frozen food, KMnO_4 , RGB

ABSTACT

ANALYSIS OF THE RATE OF KMNO₄ CHANGE ON DIFFERENCES IN FORMALIN LEVELS IN FROZEN FOOD USING THE SAMPLE IMAGE METHOD

By

FEBY CAHYA MUSTIKA

Analysis the Rate of KMNO₄ Change on Differences in Formalin Concentration in Frozen Foods Using an Image-Based Method has been successfully carried out. This study aimed to determine the presence of formalin in food products, particularly frozen foods, by using an RGB image acquisition method and the oxidation reaction between KMnO₄ and formalin. The detection system utilized a CMOS-based smartphone camera as a color sensor, three LED lights as illumination sources, a 9 V battery, a mirror, and a petri dish as the sample container. The samples used in this study were crabstick and beef meatballs with variations in formalin concentrations of 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, and 150 ppm. In crabstick samples, the Blue value decreased from approximately 194 at 0 ppm to around 51 at 150 ppm, while in beef meatball samples it decreased from approximately 187 to 42. The results of this study indicate that the higher the formalin concentration, the lower the Blue channel value obtained. This relationship demonstrates that the RGB-based digital image processing method can be used as a formalin detection technique because it is capable of distinguishing samples containing formalin from those without formalin.

Key words: CMOS, Formaldehyde, Frozen food, KMnO₄, RGB

Judul Skripsi

: Analisis Laju Perubahan KMnO_4 Terhadap Perbedaan Formalin Pada Makanan Beku Menggunakan Metode Citra Sampel

Nama Mahasiswa

: Feby Cahya Mustika

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1957041003

Jurusan

: Fisika

Fakultas

: Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Dr. Sri Wahyu Suciwati S.Si. M.Si
NIP.197108291997032001

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si. M.T
NIP. 198010102005011002

2. Ketua Jurusan Fisika

Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si
NIP. 199011252019032018

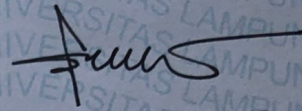
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

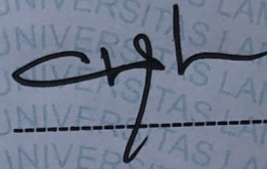
Ketua : Dr. Sri Wahyu Suciwati S.Si. M.Si



Sekretaris : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si. M.T



Anggota : Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 2 Juni 2026

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Feby Cahya Mustika

NPM : 1957041003

Menyatakan bahwa skripsi berjudul “Analisis Laju Perubahan KMnO_4 Terhadap Perbedaan Formalin Pada Makanan Beku Menggunakan Metode Citra Sampel” adalah murni hasil karya sendiri. Seluruh isi skripsi ini disusun sesuai kaidah akademik dan ketentuan penulisan ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran akademik, pemalsuan data. atau plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi ketentuan yang berlaku termasuk pembatalan gelar akademik.

Bandar Lampung, 4 Juni 2026

Yang Menyatakan,



Feby Cahya Mustika
NPM. 1957041003

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Feby Cahya Mustika. Penulis dilahirkan di Kotabumi pada 14 Februari 2001. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Almarhum Bapak Abri Herson dan Ibu Heni Saptariza. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 06 Kelapa Tujuh tahun 2013, SMPN 10 Kotabumi tahun 2016 dan SMAN 03 Kotabumi tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN tahun 2019. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif bergabung dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode 2020-2021 berlanjut periode 2021-2022 sebagai anggota bidang Sains dan Teknologi (Saintek).

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Perkebunan Nusantara (PTPN) VII Unit Bekri pada tahun 2022 dengan judul “Proses Pengolahan Serabut Kelapa Sawit Pada Stasiun Pengolahan di PT Perkebunan Nusantara VII Unit Bekri”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan Periode I tahun 2022 di Desa Candimas, Kecamatan Abung Selatan, Kabupaten Lampung Utara.

MOTTO

“Perjalanan ribuan kilometer selalu diawali dengan langkah pertama”

- **Lao Tzu**

“Belajarlah dari kesalahan orang lain. Karna hidup tidak cukup lama untuk melakukan semua kesalahan itu sendiri”

- **Mark Twain**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah SWT. Karya ini saya persembahkan kepada:

Kedua Orangtunku

Almarhum Bapak Abri Herson dan Ibu Heni Saptariza

Terimakasih atas semua doa, dukungan moril serta materi, dan harapan yang telah diberikan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini.

Kakakku

Zavira Utami Ramadita

Terimakasih telah memberikan semangat, bantuan, dan dukungan kepadaku baik dalam bentuk materi dan doa.

Almamaterku tercinta

“UNIVERSITAS LAMPUNG”

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Laju Perubahan $Kmno_4$ Terhadap Perbedaan Formalin Pada Makanan Beku Menggunakan Metode Citra Sampel**”. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan alam Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya. Semoga kita semua dapat memperoleh pertolongan beliau di hari akhir kelak. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi penambah referensi dan rujukan selanjutnya.

Bandar Lampung, 4 Juni 2026
Penulis,

Feby Cahya Mustika
NPM. 1957041003

SANWACANA

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Laju Perubahan $Kmno_4$ Terhadap Perbedaan Formalin Pada Makanan Beku Menggunakan Metode Citra Sampel”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Sri Wahyu Suciwati. S.Si., M.Si., Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi. S.Si., M.T., Selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Humairoh Ratu Ayu. S.Pd., M.Si., Selaku Dosen Pembahas, Dosen Pembimbing Akademik, dan Ketua Jurusan Fisika, yang selalu senantiasa memberikan bimbingan serta arahan selama masa perkuliahan.
4. Alm. Bapak Arif Surtono. S.Si., M.Si., Selaku Dosen Pembimbing sebelumnya yang telah memberikan arahan selama pelaksanaan penelitian.
5. Bapak Dr. Eng. Heri satria, S.Si., M.Si., Selaku Dekan MIPA Universitas Lampung.
6. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Kedua Orang Tua Penulis, Alm. Bapak Abri Herson dan Ibu Heni Saptariza yang telah memberikan perhatian, doa, nasihat, dan dukungan kepada penulis

selama menjalani kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

9. Zavira Utami Ramadita. selaku kakak penulis yang telah memberikan semangat, doa, dukungan moril serta materi selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
10. Amelisa Nurzahara, Widia Hairum Nisa, dan Nilam Puspita Sari selaku kakak penulis, Sumbai Dian Putri selaku adik penulis yang telah memberikan semangat, doa, dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
11. Mela Retno Sari, Diah Ayu Fitriana Dewi, Sohwatunnisa, dan Fidhea Paniring Gusti selaku teman-teman penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
12. Alexander sekeluarga selaku keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan emosional dan menemani perjalanan penulis selama proses penyusunan skripsi.
13. Teman-teman satu perjuangan Fisika angkatan 2019, keluarga besar Himafi FMIPA Unila, yang telah bersama-sama dengan penulis dalam menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis agar bisa menjalani kehidupan yang akan datang.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala kebikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 4 Juni 2026
Penulis,

Feby Cahya Mustika
NPM. 1957041003

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Terkait.....	6
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Pengolahan Citra	10
2.2.2 Citra Analog	11
2.2.3 Citra Digital	11
2.2.4 Operasi Pengolahan Citra	12
2.2.5 Macam-Macam Citra.....	13
2.2.3.1 Citra RGB	13
2.2.3.2 Hue Saturation Value (HSV)	15
2.2.3.3 Citra Grayscale	17
2.2.3.4 Citra Biner	18
2.2.6 Kontras	19
2.2.7 Piksel (<i>Pixel</i>) dan Noise	20
2.2.8 Warna	21
2.2.9 Sensor CCD.....	22

2.2.10	Sensor CMOS	24
2.2.11	Sumber Cahaya	27
2.2.12	Formalin	28
2.2.13	Kalium Permanganat (KMnO ₄)	29
III. METODE PENELITIAN		
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2	Alat dan Bahan	31
3.3	Prosedur Penelitian	33
3.3.1.	Perancangan Desain Alat	35
3.3.2.	Perancangan Perangkat Keras	36
3.3.3.	Perancangan Perangkat Lunak	37
3.3.4.	Pengujian Alat	38
3.3.5.	Pengukuran Sampel Dengan Nilai RGB	39
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perangkat Keras	42
4.2	Perangkat Lunak	45
4.2.1.	Grid Sampling	47
4.2.2.	Program <i>Loop</i> Piksel	48
4.2.3.	Program Analisis RGB Rata-Rata	49
4.2.4.	Program <i>Single Canvas</i>	49
4.2.5.	Program <i>toast notification</i>	50
4.3.	Hasil Pengujian	50
4.3.1	Laju Reaksi Variasi Waktu	50
4.3.2	Degradasi Warna Biru	53
4.3.3	Pengukuran Sampel Makanan Beku dengan Nilai RGB	54
V. SIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Simpulan	58
5.2	Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rancangan Jadwal Penelitian.....	31
2. Alat Penelitian.....	32
3. Bahan Penelitian	32
4. Perangkat Lunak yang digunakan	32
5. Nilai RGB Variasi Waktu dengan Kadar Formalin dalam 0,063 M KMnO ₄ 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm.....	39
6. Pengukuran Sampel dengan Kontaminan Formalin 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm.	40
7. Saturasi dari Varian Konsentrasi Formalin pada Sampel	41
8. Nilai RGB Variasi Waktu dengan Kadar Formalin	51
9. Rata-Rata Nilai RGB pada Konsentrasi Larutan Formalin dalam 60 Detik.....	52
10. Pengukuran Sampel dengan Varian Konsentrasi Formalin 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm.....	54
11. Saturasi dari Varian Konsentrasi Formalin pada Sampel <i>Crabstick</i>	56
12. Saturasi dari Varian Konsentrasi Formalin pada Sampel Bakso Sapi	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pendeteksi Kadar Formalin pada Mie Basah Menggunakan TCS3200.....	6
2. Skema Alat Sensor Kadar Kafein	7
3. Skema Sistem Perangkat Keras.....	8
4. Rancangan Perangkat Keras.....	9
5. Rancangan Alat dari Bagian Luar dan Bagian Dalam	9
6. Contoh Objek Pengolahan Citra	10
7. Langkah Dasar dalam Pengolahan Citra Digital.....	12
8. Variable Citra Digital.....	13
9. Gabungan Tiga Cahaya Tampak Merah, Hijau dan Biru.....	14
10. Konfigurasi Warna RGB.....	15
11. Ruang Warna HSV.....	16
12. Perbedaan Gambar Berwarna dengan Gambar <i>Grayscale</i>	18
13. Perbedaan Gambar Asli dengan Gambar <i>Thresholding</i>	19
14. Perbedaan Tiga Kategori pada Kontras	19
15. Gambar Bentuk Piksel	20
16. Ilustrasi Konvolusi pada Kernal Citra.....	21
17. Panjang Gelombang Elektromagnetik	22
18. Tiga Fase CCD... ..	23
19. Sensor CCD.....	23
20. Gerbang MOS	24
21. Diagram Blok CMOS.....	24
22. <i>Active Pixel</i>	25
23. <i>Passive Pixel</i>	26

24. Intensitas RGB sebagai Panjang Gelombang.....	26
25. Sensitivitas Mata dengan Panjang Gelombang.....	27
26. Cara Kerja LED	28
27. Struktur Formalin.....	28
28. Struktur KMnO ₄	29
29. Diagram Alir Penelitian	34
30. Desain <i>Imaging System</i>	35
31. Ilustrasi Proses Alat Berbasis RGB dengan Samartphone.....	36
32. Diagram Blok Perangkat Keras RGB	36
33. Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras	37
34. Diagram Alir Pembuatan <i>Software</i>	37
35. Grafik Hubungan Nilai RGB dengan Variasi Waktu.....	39
36. Grafik Nilai RGB pada Sampel <i>Frosen Food</i>	40
37. Realisasi Rangkaian dari Dalam Perangkat Keras	42
38. Bagian Tengah Perangkat Keras	43
39. Bagian Atas Perangkat Keras.....	44
40. Bagian Depan dan Belakang Perangkat Keras.....	44
41. Tampilan Awal <i>Software</i> Analisis RGB	45
42. Tampilan Hasil <i>Software</i> Analisis RGB	46
43. <i>Grid Sampling</i>	47
44. Grafik Rata-Rata Nilai RGB dengan Konsentrasi Formalin dalam 60s	52
45. Degradasi Warna Biru pada Konsetrasi Formalin	53
46. Degradasi Warna Biru dari Sampel Terkontaminasi Formalin	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makanan cepat saji sudah menjadi tren atau kebiasaan generasi muda saat ini baik pelajar dan mahasiswa maupun para pekerja yang tidak memiliki waktu banyak saat waktu istirahat di tempatnya bekerja. Makanan cepat saji yang disukai berbagai kalangan di Indonesia berupa produk hasil olahan daging seperti sosis dan bakso, teksturnya yang kenyal dan tidak memerlukan waktu lama untuk dimasak merupakan salah satu kelebihanannya. Daging sebagai bahan utama pembuatan sosis memiliki nilai nutrisi yang tinggi, sehingga banyak organisme yang dapat hidup di dalamnya, dan dapat membuat terjadinya pembusukan. Metode yang dapat digunakan dalam mencegah pembusukan tersebut adalah dengan membekukan produk atau yang dikenal dengan *frozen food*. Cara pengawetan ini dilakukan dengan menurunkan suhu hingga titik beku (Rahardjo, 2016). Pembekuan menyebabkan partikel air dalam produk makanan menjadi partikel berukuran kecil, karena jarak antar partikel air tersebut maka produk berubah menjadi fase padat (Adinda *et al.*, 2021). Sehingga aktivitas mikrobiologi dan enzim pada produk makanan pun menjadi terhambat dan mengakibatkan umur dari produk pun menjadi lebih panjang (Kristiandi *et al.*, 2022).

Kualitas kesegaran produk menggunakan metode *frozen food* tidak sepenuhnya efektif dalam mencegah pembusukan dalam produk pra-masak (*frozen*) selama proses pendistribusian produk ke daerah-daerah tertentu, maka diperlukan bahan tambahan pangan (BTP) seperti pengawet makanan untuk mencegah organisme dapat hidup dalam produk pra-masak selama proses pendistribusian tersebut (Ulya *et al.*, 2020). BTP tidak dapat digunakan berlebihan karena dapat membahayakan tubuh manusia. Menurut Permenkes RI No.33 Tahun 2012 tentang (BTP), bahan

pengawet adalah bahan tambahan pangan yang mencegah atau menghambat fermentasi, pengasaman, atau peruraian lain terhadap pangan yang disebabkan oleh mikroorganisme. Bahan pengawet merupakan senyawa yang memiliki kemampuan untuk menghambat dan menghentikan proses fermentasi, pengasaman ataupun hal-hal yang dapat menyebabkan kerusakan dan pembusukan suatu produk pangan (Sobari, 2019; Permenkes, 2012). Terdapat beragam bahan pengawet yang diizinkan oleh BPOM seperti asam sorbat, natrium sorbat, asam benzoat dan lain-lain yang tertuang pada Peraturan BPOM No. 11 Tahun 2019 tentang BTP. Meskipun penggunaannya sudah jelas tetapi masih kerap terjadi pelanggaran yang dilakukan oleh berbagai oknum dimana penggunaan BTP melebihi dosis yang telah ditetapkan bahkan menggunakan BTP yang dilarang, contohnya seperti formalin (Aida *et al.*, 2023).

Sebagian besar bahan yang digunakan sebagai BTP tidak memberikan dampak negatif secara langsung terhadap kesehatan namun efek konsumsi bahan tersebut baru dirasakan dalam jangka panjang dapat menyebabkan penyakit kanker (Wahyudi, 2017). Selain itu, tenggorokan terasa terbakar, iritasi, sakit kepala serta mual, gangguan sistem pernafasan, gangguan pada ginjal dan hati, gangguan sistem reproduksi dan kanker, serta kematian (Ermawati *et al.*, 2023).

Formalin atau formaldehid (HCHO) adalah suatu senyawa organik berupa larutan yang tidak berwarna, namun berbau tajam dan mengandung kurang lebih 37% formaldehid dalam air, biasanya ditambahkan methanol sebanyak 10- 15% (Kafiar dan Salim, 2020). Formalin banyak digunakan pada industri sebagai bahan pengawet triplek, karpet, busa, obat pembersih lantai, dan lain-lain. Formalin juga sering ditemukan pada makanan sehari-hari yang dikonsumsi seperti mie basah, ikan asin, tahu, bakso dan lain-lain dengan tujuan memperpanjang umur simpan (Sahrianti, 2021). Penggunaan formalin sebagai bahan pengawet makanan telah lama dilarang oleh pemerintah, hal ini dinyatakan pada Permenkes RI No.1168/Menkes/Per/X/1999. Menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*), secara umum ambang batas aman formalin di dalam tubuh adalah 1 mg/l (Karimuna *et al.*, 2016). Formalin dapat mengakibatkan gangguan

pada organ dan sistem tubuh manusia jika masuk ke tubuh melebihi ambang batas tersebut. Akibat penggunaan formalin pada makanan dalam jangka pendek dapat memicu efek keracunan seperti sakit perut yang disertai muntah- muntah, kejang, sakit kepala, sedangkan efek jangka panjang dapat memicu kerusakan pada sistem saraf pusat dan ginjal (Ratulangi dan Widyan, 2024).

Diperkirakan masih banyak produk pra-masak (*frozen*) yang mengandung formalin terutama dalam lingkup pasar tradisonal. Sebab pasar memiliki peran penting dalam proses penyebaran produk beku (Lewerissa *et al.*, 2023). Di daerah, di pasar tradisional ditemukan beberapa produk sosis beku yang dicurigai mengandung formalin. Temuan ini berdasarkan dari tampilan fisik sosis beku yang berbeda dari sosis beku pada umumnya yaitu tekstur yang kenyal dan masa tahannya lebih lama. Selain itu kemasan dan penyimpanan yang tidak memenuhi SNI 3820:2015 yaitu kemasan produk sosis harus dikemas dalam wadah tertutup rapat sehingga tidak mempengaruhi produk (Hidayat, 2022).

Selama ini untuk menguji formalin pada makanan dilakukan oleh pengawas dinas kesehatan menggunakan reagen utama asam kromatofat, karena lebih mudah mengikat formalin yang terkandung dalam suatu makanan, dalam hal ini dikatakan positif apabila terbentuk warna ungu (Sahrianti, 2021). Meski mudah dilakukan cara ini memiliki akurasi yang rendah sehingga sering kali kurang akurat. Selain itu jika banyak sampel yang harus diuji maka dibutuhkan banyak Reagen sehingga membutuhkan biaya yang mahal untuk setiap sample (Kafiar dan Salim, 2020). Karena hal tersebut, maka diperlukan pengembangan dalam alat deteksi formalin yang mudah untuk digunakan.

Dengan menggunakan metode RGB dapat memungkinkan deteksi formalin karena adanya perbedaan proporsional intensitas warna yang dapat digunakan untuk mendapatkan makanan yang terkontaminasi atau tidak. Penelitian yang dilakukan Baskoro dan Susanto (2020) telah mengembangkan alat pengukur kandungan formalin menggunakan sensor gas. Namun alat tersebut masih kurang akurat karena sample dan pembanding tidak sesuai standar laboratorium. Selain itu,

desain alat juga mempengaruhi akurasi pembacaan detektor. Selanjutnya Marbiadi *et al.*, (2019) menggunakan teknologi hidung elektronik (*Electronic nose*). Dengan prinsip *Elektronik nose* dapat meniru sistem indera penciuman dan mampu mendeteksi unsur-unsur kimia pada aroma yang diterima dari berbagai sumber. Perbedaan kadar formalin yang menyebabkan *Elektronik nose* mampu membedakan sampel buah tomat yang diuji, karena semakin tinggi kadar formalin pada buah tomat maka aroma khas dari buah tomat pun semakin menghilang, sehingga *Electronic nose* yang berbasis kemampuan penciuman dapat membedakannya. Efriyansyah (2021) menggunakan sensor Grove HCHO untuk mendeteksi kandungan gas yang diperoleh dari hasil pemanasan ikan yang mengandung formalin. Namun peningkatan suhu setelah 50°C menyebabkan berkurangnya kadar gas formalin yang dideteksi oleh sensor.

Analisis kontaminan formalin dapat dilakukan menggunakan metode RGB. Dengan konsentrasi minimal kontaminan formalin yang dapat dideteksi sebesar 50 ppm. Maka penelitian ini diusulkan untuk menyempurnakan alat deteksi formalin yang telah dilakukan sebelumnya (Baskoro dan Susanto, 2020; Marbiadi *et al.*, 2019; Efriyansyah, 2021) dengan metode klasifikasi RGB. Pada metode ini menggunakan LED sebagai sumber cahaya yang diposisikan ke arah bawah mengenai sebuah cermin, agar cahaya yang didistribusikan dapat lebih merata. Pada sisi bawah terdapat tempat menaruh sampel yang yang diberi sedikit celah agar memudahkan cahaya mengenai cawan petri sample. Cahaya yang mengenai sample akan memperjelas perubahan warna antara pelarut dengan zat formalin pada sample. Kemudian akan ditangkap oleh sensor pada kamera handphone yang berada bagian atas alat. Gambar yang didapat akan dikirim ke software deteksi formalin, lalu menganalisis warnanya untuk menampilkan nilai RGB.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apakah nilai RGB dapat digunakan untuk membedakan sampel yang mengandung formalin dengan yang tidak?

2. Bagaimana pengaruh perbedaan kadar formalin terhadap laju perubahan warna KMnO_4 pada makanan beku?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan adanya kandungan formalin melalui analisis warna yang ditangkap kamera berbasis nilai RGB.
2. Mengetahui laju perubahan warna KMnO_4 berdasarkan variasi kadar formalin pada sampel makanan beku.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan metode deteksi formalin berbasis teknologi sensor warna.
2. Menjadi referensi dasar pengembangan alat deteksi berbasis citra digital untuk zat adiktif berbahaya.

1.5 Batasan Penelitian

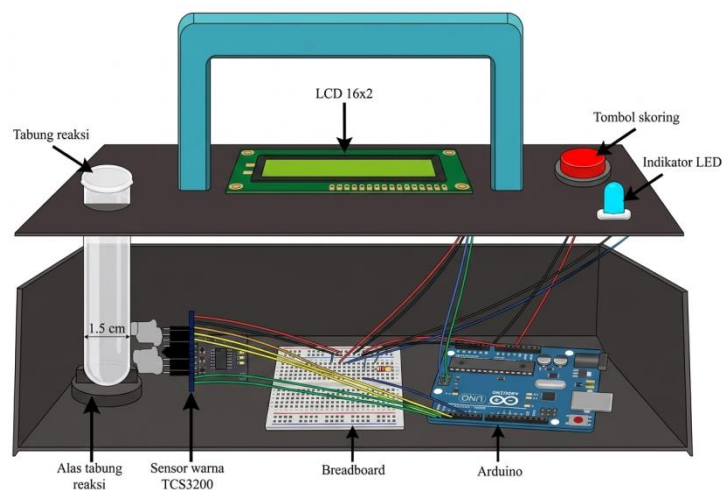
Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya membandingkan nilai warna RGB tanpa menghitung kadar formalin secara detail.
2. Kondisi pencahayaan saat pengambilan citra dibuat gelap untuk mengurangi error deteksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

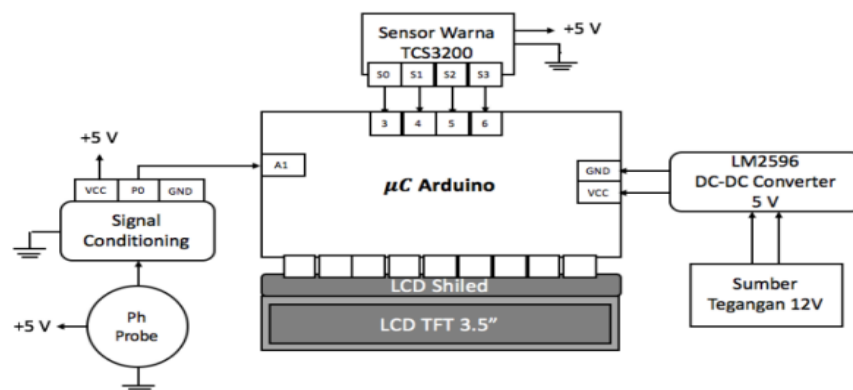
2.1 Penelitian Terkait

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis sedikit banyak terinspirasi dan mereferensi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan latar belakang masalah pada skripsi ini. Penelitian yang dilakukan oleh telah dilakukan oleh Wati *et al.*, (2021) menggunakan sensor warna TCS3200 dan mikrokontroler ATmega328P yang bertujuan agar sistem yang dirancang dapat mendeteksi adanya kandungan formalin tanpa perlu dilakukan uji laboratorium. Warna yang dideteksi oleh sensor TCS3200 merupakan warna dari pencampuran sampel berformalin dengan pereaksi schiff. Selanjutnya sampel akan diseleksi oleh instrumen berdasarkan nilai warna RGB yang terdeteksi oleh sensor warna TCS3200. Apabila senyawa yang diuji mengandung formalin, maka ketika diberi pereaksi schiff akan terjadi perubahan warna menjadi merah keunguan atau warna magenta yang menandakan terdapatnya formalin pada senyawa yang diuji.



Gambar 2.1 Pendeteksi Kadar Formalin pada Mie Basah Menggunakan Sensor Warna TCS3200 (Wati *et al.*, 2021)

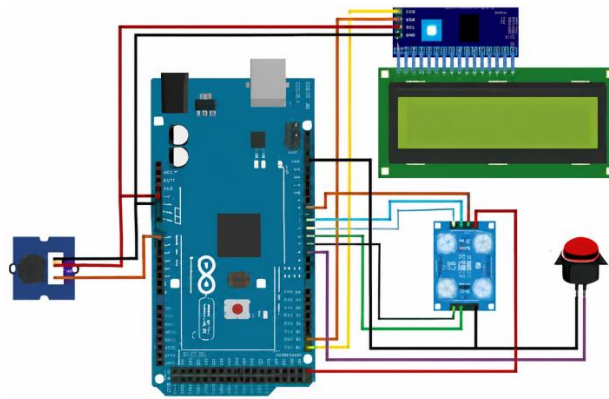
Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Heriyanti *et al.*, (2021) dengan mengkarakterisasi sensor warna TC3200 sebagai studi awal rangkaian pembuatan alat ukur kafein. Modul sensor warna TCS230 dirancang untuk mengkonversi warna objek menjadi sebuah frekuensi yang akan diolah dan diterjemahkan oleh mikrokontroler, dalam hal ini sensor warna berperan mendeteksi warna kopi sesuai karakteristik dan kandungan kafein. Ketika kopi disinari oleh LED, kopi akan memantulkan cahaya tersebut, lalu cahaya yang dipantulkan akan tertangkap oleh photodiode. Panjang gelombang cahaya yang dipantulkan berbeda-beda, hal ini sangat bergantung pada warna kopi yang sedang diukur. Panjang gelombang dan sinar LED yang dipantulkan oleh sampel kopi akan dibawa untuk mengaktifkan salah satu kelompok photodiode, selanjutnya S2 dan S3 pada sensor TCS3200 yang berada pada **Gambar 2.2** akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler untuk menginformasikan warna yang dideteksi.



Gambar 2.2 Skema Alat Sensor Kadar Kafein (Heriyanti *et al.*, 2021).

Setelah diproses oleh mikrokontroler Arduino dan diterjemahkan oleh jenis warna maka data tersebut akan dibandingkan dengan database yang ada pada memori penyimpanan selanjutnya disesuaikan dengan hasil deteksi sensor maka akan diperoleh informasi kadar kafein kopi, dan hasil pembacaan akan ditampilkan pada LCD TFT. Hasil karakterisasi sensor warna TC3200 dengan nilai RGB pada kopi Liberika, Arabika dan Robusta memperlihatkan semakin gelap warna kopi maka nilai RGB akan semakin besar karena tingkat kematangan *roasting* atau pemanggangan biji kopi yang lebih lama.

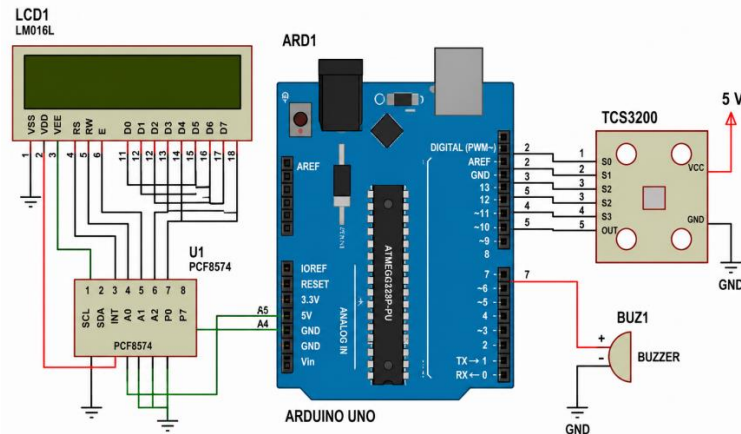
Penelitian lainnya oleh Attamimi *et al.*, (2022) menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega sebagai pengolah data. Sistem akan mengklasifikasikan data Nonformalin dan Berformalin dengan menggunakan metode *K-Nearest Neighbor*. Sistem terbagi menjadi dua buah bagian. Pada bagian utama terdapat Arduino Mega yang dilapisi dengan akrilik lalu di luar akrilik tersebut terdapat push button dan LCD yang berguna untuk menampilkan hasil klasifikasi yang sudah diproses oleh KNN. Lalu pada bagian kedua terdapat dua buah sensor yaitu sensor warna yang berguna untuk mendapatkan nilai RGB dari saus yang akan diuji dan pada sensor HCHO ditambahkan sebuah corong agar memudahkan sensor HCHO mendeteksi gas HCHO dan meningkatkan akurasi pembacaan sensor. Lalu di bawah kedua sensor tersebut terdapat ruang untuk meletakkan sampel dari saus yang akan diuji. Pada **Gambar 2.4** menunjukkan skema system perangkat keras.



Gambar 2.3 Skema Sistem Perangkat Keras (Attamimi *et al.*, 2022)

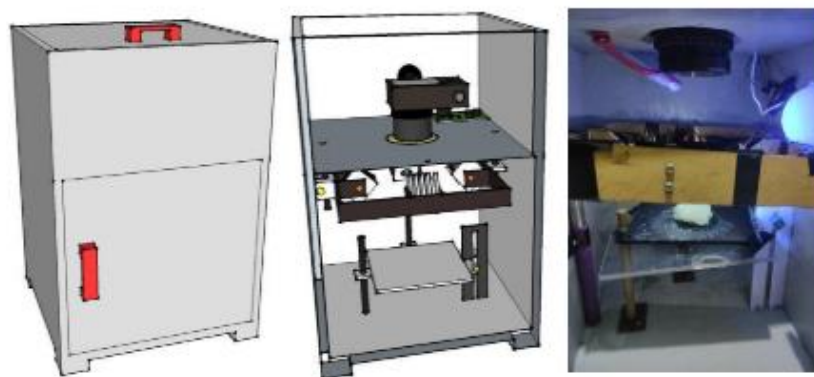
Penelitian selanjutnya oleh (Permata *et al.*, 2021) mengembangkan alat berbasis Arduino Uno R3 untuk dapat menguji makanan secara praktis dan efektif. Sensor warna TCS3200 digunakan untuk mendeteksi sampel makanan yang mengandung formaldehida setelah dicampur dengan Reagen utama Formaldehida sesuai dosis. Sistem bekerja dari inisialisasi alat dengan aplikasi Java NetBeans, kemudian pembacaan frekuensi warna oleh sensor warna TCS3200. Frekuensi warna yang terbaca oleh sensor sehingga warna akan diproses oleh Arduino sebagai pengontrol. Jika mendeteksi warna ungu, Arduino akan menampilkan "makanan mengandung formaldehida" dan menampilkan hasilnya pada LCD serta mengaktifkan buzzer, kemudian ditampilkan secara otomatis

pada aplikasi Java NetBeans. Sebaliknya, jika warna yang terdeteksi bukan ungu, maka Arduino akan menampilkan bahwa makanan tersebut bebas formaldehida dan aplikasi Java NetBeans akan menampilkan "bebas formaldehida".



Gambar 2.4 Rancangan Perangkat Keras (Permata *et al.*, 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Haryarta *et al* (2022) menggunakan prinsip fluoresensi dalam menganalisa kontaminan boraks pada cilok. Metode ini akan mencari nilai presisi dan limit deteksi dari kontaminan boraks pada cilok dengan sistem spektroskopi berbasis high power UV-LED. Kemungkinannya jika sinar *high power* UV-LED dipancarkan ke cilok maka nantinya akan berpendar, hal itu terjadi karena atom pada cilok setelah menerima cahaya berenergi tinggi akan tereksitasi kemudian atom yang tereksitasi akan kembali ke keadaan semula sehingga melepaskan energi berupa cahaya. Pada **Gambar 2.3** menunjukkan rancangan alat fluoresensi dari bagian luar dan dalam.



Gambar 2.5 Rancangan Alat dari Bagian Luar dan Bagian Dalam (Haryarta *et al.*, 2021).

Pengujian presisi dan limit deteksi dilakukan dengan variasi kontaminan boraks sebesar 0% - 40% dengan berat cilok sebesar 20 gram dan pengujian presisi dilakukan dengan mengulang pengujian dari masing-masing sampel sebanyak 5 kali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki nilai presisi rata-rata yaitu 100% dan nilai limit deteksi yaitu 2,6% sampel.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengolahan Citra

Secara keseluruhan pengolahan citra berarti suatu cara mengolah suatu citra menjadi citra lain yang lebih sempurna atau yang diinginkan. Dengan kata lain, pengolahan citra adalah suatu proses dengan masukan citra dan menghasilkan keluaran berupa citra seperti yang diinginkan. Citra dapat berupa hasil fotografi, lukisan, atau gambaran serta corat-coret yang terjadi di kertas, kanvas, dan di layar monitor. Dapat dikatakan juga citra merupakan sebaran variasi gelap-terang, redup-cerah, dan/atau warnawarni di suatu bidang datar (Putri, 2016).



Gambar 2.6 Contoh Objek Pengolahan Citra (Lima *et al.*, 2024).

Peralatan fotografi merupakan sarana pendigital citra yang telah lama dikenal dan paling banyak dipakai. Dalam satu dekade terakhir keberadaan Kamera Digital makin dominan, termasuk yang telah menyatu di HP atau telepon seluler. Kamera digital termasuk ke dalam sensor citra, di dalamnya terdapat sensor yang menghasilkan keluaran elektris yang sebanding dengan intensitas cahaya dan

terdapat pula digitizer yang mengubah keluaran elektris menjadi data digital (Yudono, 2017). Citra digital dapat diperoleh tidak hanya menggunakan alat yang menggunakan sensor penangkap intensitas cahaya saja tetapi citra dapat juga diperoleh menggunakan sensor lainnya. Selain Kamera Digital yang telah digunakan secara umum, telah banyak pula digunakan system-sistem pencitraan yang lain seperti Sinar Gamma, Sinar-X, Ultraviolet, Inframerah, Gelombang-Mikro, Bidang Frekuensi Radio, Ultrasonik, dan lain-lain (Intan *et al.*, 2016).

2.2.2 Citra Analog

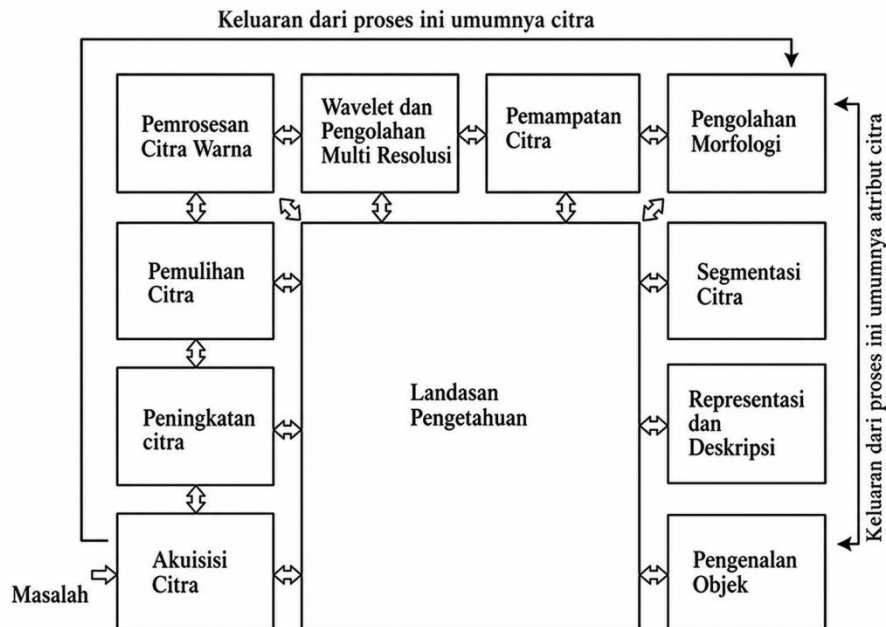
Citra analog adalah citra yang bersifat kontinu baik dalam resolusi spasial maupun nilai intensitasnya, sehingga perubahan warna atau tingkat keabuan berlangsung secara halus dan tidak terputus (Yeuseyenka *et al.*, 2022). Citra ini terbentuk secara alami melalui proses optik, misalnya tangkapan cahaya oleh mata manusia atau oleh alat optik seperti kamera film dan mikroskop. Pada citra analog, nilai intensitas cahaya direpresentasikan dalam bentuk sinyal kontinu yang tidak dinyatakan dalam bilangan diskrit, sehingga tidak dapat langsung diproses oleh komputer digital tanpa melalui proses konversi (digitisasi) terlebih dahulu. Oleh karena itu, citra analog umumnya digunakan pada sistem visual konvensional dan menjadi objek utama dalam proses akuisisi sebelum diubah menjadi citra digital untuk keperluan pengolahan citra berbasis komputer. (Desiani *et al.*, 2021).

2.2.3 Citra Digital

Citra adalah gambar pada bidang dua dimensi yang dihasilkan dari gambar analog dan kontinu menjadi gambar diskrit (Yudono, 2017). Citra dapat dikelompokkan menjadi citra tampak dan citra tidak tampak. Contoh citra tampak dalam kehidupan sehari-hari adalah foto, gambar, dan lukisan, sedangkan citra tidak tampak misalnya data gambar dalam file (citra digital), dan citra yang direpresentasikan menjadi fungsi matematis (Gazali *et al.*, 2012).

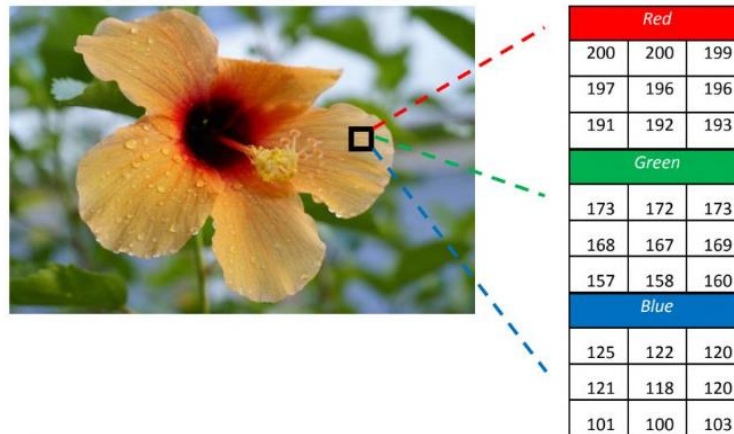
Pengolahan citra digital merupakan jenis dispensasi sinyal di mana inputnya berupa gambar, seperti frame video atau foto dan output bisa berupa gambar. sistem pengolahan citra termasuk memperlakukan gambar sebagai sinyal dua

dimensi dengan menerapkan metode pemrosesan sinyal yang telah ditetapkan (Lima *et al.*, 2024). **Gambar 2.7** menunjukkan langkah dasar dalam pengolahan citra digital.



Gambar 2.7 Langkah Dasar dalam Pengolahan Citra Digital (Lima *et al.*, 2024).

Citra digital juga merupakan representasi digital yang terdiri dari kumpulan piksel. Setiap piksel dalam citra digital memiliki nilai numerik yang mewakili intensitas cahaya pada posisi piksel tersebut (Zuraida *et al.*, 2024). Citra digital dapat dipandang sebagai fungsi dua dimensi $I(x,y)$, di mana x dan y menyatakan koordinat spasial, sedangkan nilai fungsi pada koordinat tersebut menunjukkan tingkat kecerahan atau intensitas cahaya. Representasi digital ini memungkinkan citra diproses menggunakan komputer untuk berbagai tujuan, seperti peningkatan kualitas citra, ekstraksi informasi, segmentasi objek, hingga pengenalan pola (Fachrunnisa *et al.*, 2024). Pada hasil tangkapan layar kamera dalam format RGB (*Red, Green, Blue*) memiliki komponen intensitas I_R, I_G, I_B . Masing-masing disusun dalam *regular grid* atau *array* dua dimensi seperti yang ditunjukkan pada gambar **Gambar 2.8**. Nilai kecerahan yang didigitalkan dinamakan nilai tingkat keabuan (Zuraida *et al.*, 2024).



Gambar 2.8 Variable Citra Digital (Yudono, 2017).

2.2.4 Operasi Pengolahan Citra

2.2.4.1 Akuisisi Citra

Dalam sistem pengolahan citra digital, kualitas akuisisi citra sangat menentukan keberhasilan proses analisis berikutnya. Citra yang memiliki pencahayaan tidak merata, kontras rendah, atau mengandung noise dapat menyebabkan kesalahan pada tahap ekstraksi fitur dan klasifikasi objek (Surnaryo et al., 2024). Pada tahap ini terdiri dari pencahayaan objek, penangkapan citra oleh sensor, digitalisasi sinyal, dan penyimpanan citra dalam format tertentu seperti JPEG, PNG, atau BMP. Akuisisi citra yang tepat akan menghasilkan informasi visual yang lebih lengkap sehingga memudahkan proses identifikasi karakteristik objek yang diamati (Mandala *et al.*, 2021).

2.2.4.2 Segmentasi Citra

Segmentasi merupakan metode yang digunakan untuk membagi citra menjadi beberapa bagian yang memiliki informasi penting. Pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi objek dengan memisahkan objek dengan *background*. Segmentasi citra dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan objek-objek yang terkandung di dalam citra atau membagi citra ke dalam beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah memiliki kemiripan. Pada citra yang mengandung hanya satu objek, objek dibedakan dari latar belakangnya. Segmentasi juga biasa dilakukan sebagai langkah awal untuk melaksanakan klasifikasi objek (Yudhana & Saifullah, 2016).

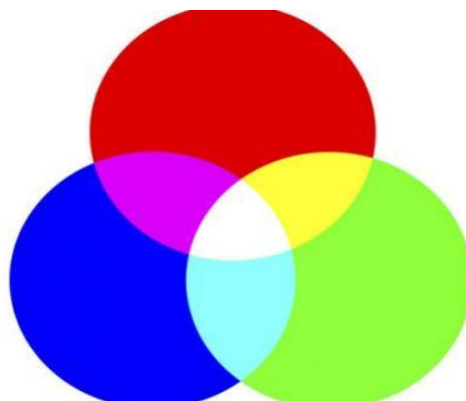
2.2.4.1 Preprocessing

Teknik preprocessing digunakan untuk mempersiapkan citra agar menghasilkan citra yang lebih baik pada tahap pemisahan proses pengujian pola. Teknik pra-pemrosesan sangat berkaitan dengan pengujian pola. Pengujian pola secara umum merupakan suatu ilmu yang mengklasifikasikan atau menggambarkan sesuatu berdasarkan pengukuran kuantitatif ciri atau sifat dari objek. Pola sendiri merupakan suatu entitas yang terdefinisi dan dapat diidentifikasi dan diberi nama. Salah satu contoh dari pola yaitu sidik jari (Alhaqq dan Harjoko, 2015)

2.2.5 Macam-Macam Citra

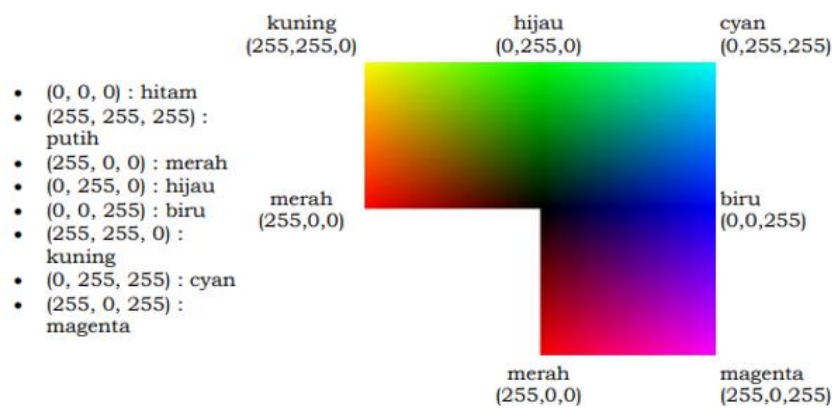
2.2.5.1 Citra RGB

RGB adalah suatu model warna yang terdiri atas 3 buah warna: merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*), yang ditambahkan dengan berbagai cara untuk menghasilkan bermacam-macam warna. Model warna RGB adalah model warna berdasarkan konsep penambahan kuat cahaya primer yaitu *red*, *green* dan *blue* (Zuraida *et al.*, 2024). Dalam suatu ruang yang sama sekali tidak ada cahaya, maka ruangan tersebut adalah gelap total. Tidak ada signal gelombang cahaya yang diserap oleh mata kita atau RGB (0, 0, 0). Apabila kita menambahkan cahaya merah pada ruangan tersebut, maka ruangan akan berubah warna menjadi merah misalnya RGB (255, 0, 0), semua benda dalam ruangan tersebut hanya dapat terlihat berwarna merah. Demikian apabila cahaya kita ganti dengan hijau atau biru (Jeevaraj & Archana, 2024).



Gambar 2.9 Gabungan Tiga Cahaya Tampak Merah, Hijau dan Biru (Jeevaraj & Archana, 2024).

Pada **Gambar 2.9** Gabungan warna merah dan hijau menghasilkan warna kuning, gabungan merah dan biru menghasilkan warna ungu, sedangkan gabungan warna biru dan hijau menghasilkan warna cyan (Aditya *et al.*, 2020). Gabungan warna merah, hijau, dan biru menghasilkan warna putih bila ketiga warna tersebut memiliki intensitas yang sama, yaitu 255. Pilihan skala 256 ini didasarkan pada cara mengungkap 8 digit bilangan biner yang digunakan oleh mesin komputer. Dengan cara ini, akan diperoleh warna campuran sebanyak $256 \times 256 \times 256 = 1677726$ jenis warna (Setyawan & Mendrofa, 2021). Pada **Gambar 2.10** terdapat konfigurasi warna RGB dari nilai 0 – 255. Semakin rendah nilai intensitas ketiga warna tersebut akan menghasilkan warna abu-abu dari cerah ke gelap (*gray level*) hingga menjadi warna hitam, saat nilai ketiga warna ini sama dengan nol (Kusumanto & Tomponu, 2011)



Gambar 2.10 Konfigurasi Warna RGB (Amrullah *et al.*, 2022)

Normalisasi RGB berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap perubahan pencahayaan. Pada citra RGB biasa, perubahan intensitas cahaya akan menyebabkan seluruh nilai R, G, dan B berubah secara bersamaan. Akibatnya, objek yang sama dapat memiliki nilai RGB yang berbeda ketika difoto pada kondisi pencahayaan yang berbeda. Dengan normalisasi RGB, pengaruh perubahan intensitas cahaya dapat diminimalkan karena yang dianalisis adalah rasio antar kanal warna, bukan nilai absolutnya (Kusumanto & Tomponu, 2011). Normalisasi merupakan ekstensi dari warna RGB dimana setiap warna piksel di proposikan dengan jumlah keseluruhan warna RGB pada setiap piksel. Hal ini untuk mengatasi perbedaan intensitas pada objek yang sama yang diambil

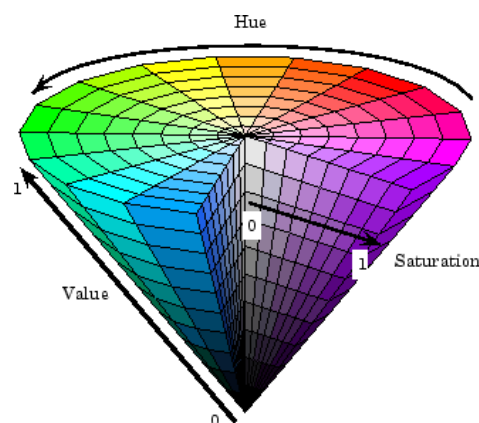
gambarnya pada pencahayaan yang berbeda. Dapat dilihat dari **Persamaan 2.1** (Rabbani *et al.*, 2021).

$$r = \frac{R}{255} \quad g = \frac{G}{255} \quad b = \frac{B}{255} \quad (2.1)$$

2.2.5.2 Hue Saturation Value (HSV)

Manusia pada dasarnya bisa melihat warna dikarenakan adanya cahaya yang dipantulkan dari sebuah objek. Pada spektrum cahaya dari warna yang berkisar pada 400-700 nm. Arti kromatis mengacu pada kualitas warna dari cahaya yang berdasarkan panjang dan pendek sebuah gelombang. Pada mata manusia bisa menganggap dan membedakan satu warna dengan warna lain berupa hue, saturation, dan brightness (Oni *et al.*, 2021).

Hue menyatakan warna murni, seperti merah, kuning, dan biru yang digunakan untuk menentukan kemerahan (redness), kehijauan (greenness) (Pramudiya *et al.*, 2025). Saturation kadang disebut chroma, derajat warna putih yang terkandung dalam suatu warna (Juandri & Anwar, 2023). Value tingkat kecerahan dari suatu warna. Nilainya berkisar antara 0-100 %. Nilai 0 untuk warna tergelap yakni hitam, semakin besar nilai value maka warna akan semakin cerah (Oni *et al.*, 2021).



Gambar 2.11 Ruang Warna HSV (Cairns *et al.*, 2025).

Ruang warna (atau terkadang disebut sistem warna atau model warna) diartikan sebagai kedudukan sistem dan posisi di dalam sistem di mana setiap warna

terwakili oleh sebuah titik. Pada **Gambar 2.11** menunjukkan ruang warna HSV. Ruang warna bertujuan untuk memfasilitasi ciri standar dari warna. Didalam dunia komputer, ruang warna yang paling dikenal yaitu RGB, karena manusia lebih mudah menangkap warna tersebut (Cairns *et al.*, 2025).

Model warna HSV juga merupakan model warna yang diturunkan dari model warna RGB maka untuk mendapatkan warna HSV ini, harus melakukan proses konversi nilai warna dari RGB ke HSV. Konversi warna dari RGB (Red Green Blue) ke HSV (Hue Saturation Value) ditunjukkan pada **Persamaan 2.2** (Nurhalisa *et al.*, 2025).

$$H = \begin{cases} 60 \left(\frac{(G-B)}{\delta} \right) & MAX = R \\ 60 \left(\frac{(G-R)}{\delta} \right) & MAX = G \\ 60 \left(\frac{(R-G)}{\delta} \right) & MAX = B \end{cases} \quad (2.2)$$

$$S = \begin{cases} \frac{\delta}{MAX} & MAX \neq 0 \\ 0 & MAX = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

$$V = MAX \quad (2.4)$$

2.2.5.3 Citra Grayscale

Metode Grayscale adalah teknik yang digunakan untuk mengatur tingkat kecerahan dan kontras gambar dengan mengulangi siklus antara gambar grayscale asli dan gambar dengan kecerahan dan kontras yang telah disesuaikan (Pramudiya *et al.*, 2025). Citra grayscale merupakan citra yang hanya memiliki satu keping warna dengan derajat warna 0 s.d. 255 yang merupakan warna keabuan, maka warna hitam sempurna bernilai 0 dan putih sempurna bernilai 255 (Yasir *et al.*, 2023).

Untuk mengonversi gambar berwarna menjadi gambar skala abu-abu, setiap piksel dalam gambar berwarna diubah menjadi satu nilai skala abu-abu. Nilai skala abu-abu ini biasanya dihitung menggunakan rumus rata-rata tertimbang

berdasarkan nilai intensitas komponen RGB (Atmaja, 2025). Rumus yang umum digunakan ditunjukkan pada **Persamaan 2.3**.

$$Grayscale = 0,3 \text{ red} + 0,59 \text{ green} + 0,11 \text{ blue} \quad (2.5)$$

Penggunaan gambar skala abu-abu lebih sering digunakan karena gambar ini membutuhkan informasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan gambar berwarna, karena setiap piksel tidak memerlukan tiga nilai intensitas seperti pada gambar berwarna (Fadjeri *et al.*, 2022).



Gambar 2.12 Perbedaan Gambar Berwarna dengan Gambar *Grayscale* (Gazali *et al.*, 2012).

2.2.5.4 Citra Biner

Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua nilai intensitas untuk setiap piksel, yaitu hitam dan putih. Biasanya, piksel yang mewakili objek diberi nilai 1 (putih) dan piksel latar belakang diberi nilai 0 (hitam), atau sebaliknya, tergantung pada konvensi yang digunakan (Yasir *et al.*, 2023). Karena hanya terdiri atas dua tingkat intensitas, citra biner memiliki ukuran data yang lebih kecil dibandingkan citra grayscale maupun citra berwarna sehingga proses pengolahan dan analisis dapat dilakukan dengan lebih cepat. Pembentukan citra biner umumnya dilakukan melalui proses *thresholding* dari citra *grayscale*, dimana setiap piksel diberi label “objek” jika nilai intensitasnya memenuhi kriteria tertentu berdasarkan nilai *threshold* yang dipilih. Nilai piksel pada gambar memiliki rentang interval antara $[0,n]$, dari distribusi tiap gray level. Dari

distribusi nilai tersebut akan membentuk suatu histogram yang nantinya digunakan untuk mencari nilai dari threshold suatu gambar (Fadjeri *et al.*, 2022).



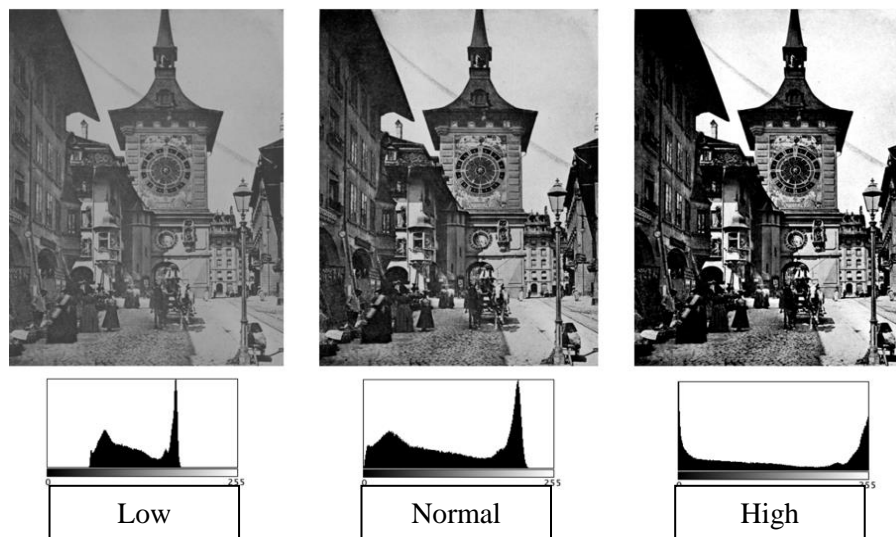
Gambar 2.13 Perbedaan Gambar Asli dengan Gambar *Thresholding* (Musakkir *et al.*, 2024).

Berdasarkan **Gambar 2.13**. *Thresholding* digunakan untuk mengatur jumlah derajat keabuan yang ada pada citra. Hasil dari metode segmentasi berupa citra biner ditandai dengan tampilan warna putih atau disimbolkan 1 jika nilai piksel lebih besar dari nilai ambang (threshold), maka latar belakang gambar menjadi warna hitam atau 0 (Desiani *et al.*, 2021).

2.2.6 Kontras

Kontras dalam suatu citra menyatakan distribusi warna terang dan gelap. Suatu citra berskala keabuan dikatakan memiliki kontras rendah apabila distribusi warna cenderung pada jangkauan tingkatan keabuan yang sempit. Sebaliknya, citra mempunyai kontras tinggi apabila jangkauan tingkatan keabuan lebih terdistribusi secara melebar. Kontras dapat diukur berdasarkan perbedaan antara nilai intensitas tertinggi dan nilai intensitas terendah yang menyusun piksel-piksel dalam citra (Nurliadi *et al.*, 2016). Citra yang memiliki kontras rendah dapat terjadi karena kurangnya pencahayaan, kurangnya bidang dinamika dari sensor citra, atau kesalahan setting pembuka lensa pada saat pengambilan citra. (Firma & Oktamuliani, 2022). Citra dengan kontras yang baik memungkinkan detail objek pada citra terlihat lebih jelas sehingga memudahkan proses interpretasi visual maupun analisis menggunakan komputer. Peningkatan kontras sering digunakan sebagai tahap *pre-processing* untuk memperjelas batas objek,

meningkatkan kualitas segmentasi, dan mendukung ekstraksi fitur yang lebih akurat (Molina & Rojas, 2024).



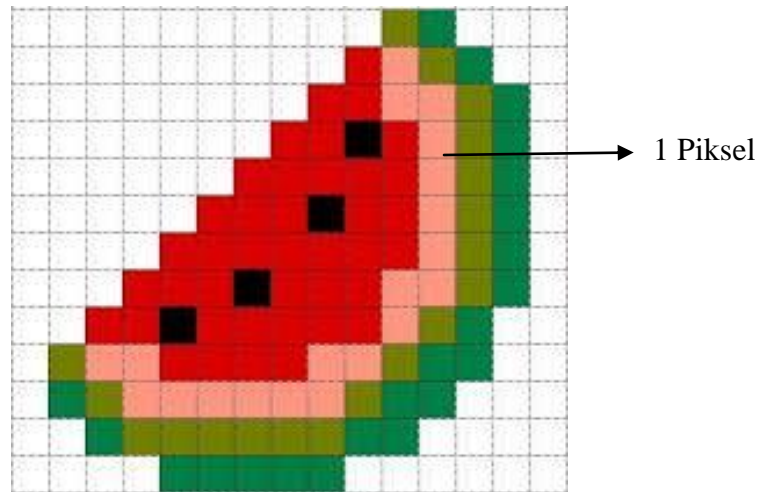
Gambar 2.14 Perbedaan Tiga Kategori pada Kontras (Ummah *et al.*, 2025).

Berdasarkan **Gambar 2.14** sebaran gelap dan terang citra dikelompokkan ke dalam tiga kategori: citra kontras-rendah (*low contrast*), citra kontras normal (*good contrast*), dan citra kontras-tinggi (*high contrast*). (Riadi *et al.*, 2017). Citra kontras normal memiliki jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada dominasi dari suatu nilai keabuan. Histogram citranya menampilkan sebaran nilai keabuan yang relatif seragam (Riyanto *et al.*, 2019). Pada citra berkontras-tinggi, jangkauan nilai keabuan yang dimiliki lebar, tetapi terdapat area yang lebar yang didominasi oleh warna terang dan warna gelap. Pada citra berkontras-tinggi, histogramnya terlihat memiliki dua puncak yaitu pada area nilai keabuan yang tinggi (terang) dan pada area nilai keabuan yang rendah (Ummah *et al.*, 2025).

2.2.7 Piksel (*Pixel*) dan Noise

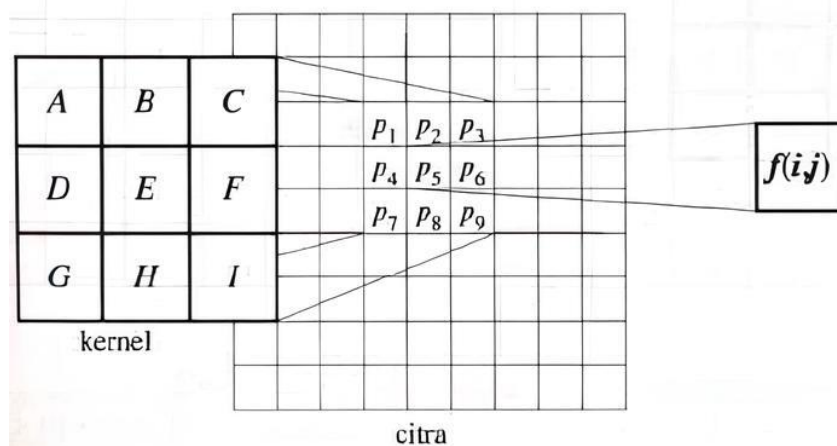
Piksel adalah representasi dari titik terkecil citra digital atau gambar grafis dan dihitung per Inchi (satuan metrik), titik terkecil inilah yang disebut dengan Piksel (Fachrunnisa *et al.*, 2024). Piksel merupakan singkatan dari *Picture Element* atau Elemen Citra. Rentang nilai-nilai pixel dipengaruhi oleh banyaknya

warna yang dapat ditampilkan. Jika suatu bitmap dapat menampilkan 256 warna maka nilai-nilai pixelnya dibatasi dari 0 hingga 255 (Fahtoni *et al.*, 2023).



Gambar 2.15 Gambar Bentuk Pixel (Fahtoni *et al.*, 2023).

Saat proses pengambilan citra menggunakan kamera terkadang mengalami penurunan mutu, seperti adanya *Noise*(derau), yaitu gambar atau pixel yang mengganggu kualitas citra (Sinaga *et al.*, 2025). Hal ini dapat disebabkan oleh gangguan teknis, peralatan yang digunakan atau juga dikarenakan kurang baiknya suatu pencahayaan, yang tidak hanya terjadi karena ketidaksempurnaan dalam proses pengambilan gambar, tetapi dapat disebabkan juga oleh noda kotoran yang terjadi pada citra setelah pengambilan citra (Nugroho & Hazmin, 2022).

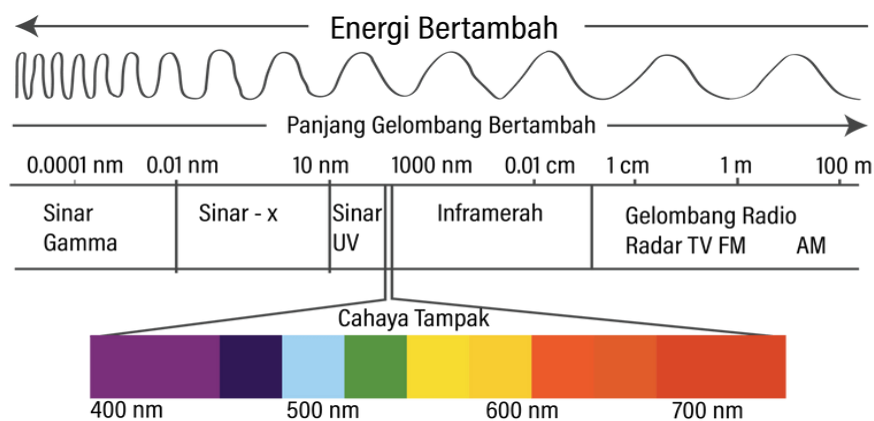


Gambar 2.16 Ilustrasi Konvolusi pada Kernal Citra (Yasir *et al.*, 2023)

Pada **Gambar 2.16.** menunjukkan ilustrasi konvolusi pada karnel citra, dimana konvolusi citra merupakan tehnik untuk menghaluskan suatu citra atau memperjelas citra dengan menggantikan nilai piksel dengan sejumlah nilai piksel yang sesuai atau berdekatan dengan piksel aslinya, tetapi ukuran dari citra tetap sama, tidak berubah (Gazali *et al.*, 2012).

2.2.8 Warna

Warna adalah spektrum yang terdapat didalam suatu cahaya sempurna atau berwarna putih. Suatu warna memiliki identitas yang ditentukan oleh panjang gelombang dari cahaya tersebut (Juandri & Anwar, 2023). Adapun arti warna sendiri sudah termasuk menjadi salah satu daya tarik dalam dunia desain grafis, serta sudah menjadi unsur dalam desain grafis. Sedangkan teori warna menurut fisika, merupakan kesan yang ditimbulkan oleh cahaya pada mata. Jadi, biasa dikatakan warna itu terjadi dari pantulan cahaya dari benda, kemudian ditangkap oleh mata manusia. Contoh, warna merah yang memiliki panjang gelombang sekitar 460 nanometer. Sedangkan panjang warna yang bias ditangkap oleh mata manusia hanya sekitar 380 sapai 780 nanometer (Jiang *et al.*, 2022).



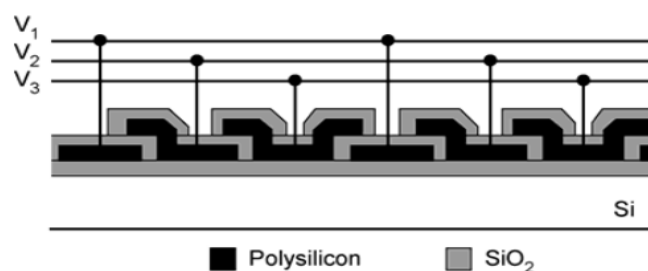
Gambar 2.17 Panjang Gelombang Elektromagnetik (Juandri & Anwar, 2023)

Berdasarkan **Gambar 2.17** gelombang-gelombang ini sering ditunjukkan untuk gelombang siaran radio. Secara objek, warna dapat diberikan oleh panjang gelombang. Dilihat dari panjang gelombang, cahaya yang tampak oleh mata

merupakan salah satu bentuk pancaran energy yang merupakan bagian sempit dari gelombang elektromagnetik (Rasiman *et al.*, 2024). Cahaya yang bisa dilihat oleh mata manusia memiliki panjang gelombang antara 380 hingga 780 nanometer. Cahaya dalam rentang tersebut dapat dipecah menjadi warna-warna seperti pelangi menggunakan prisma kaca. Warna tersebut dimulai dari ungu, biru, hijau, kuning, jingga, hingga merah. Di luar cahaya ungu ada gelombang ultraviolet, sinar x, sinar gamma, dan kosmik, seperti yang ditunjukkan pada. (Juandri & Anwar, 2023)

2.2.9 Sensor CCD

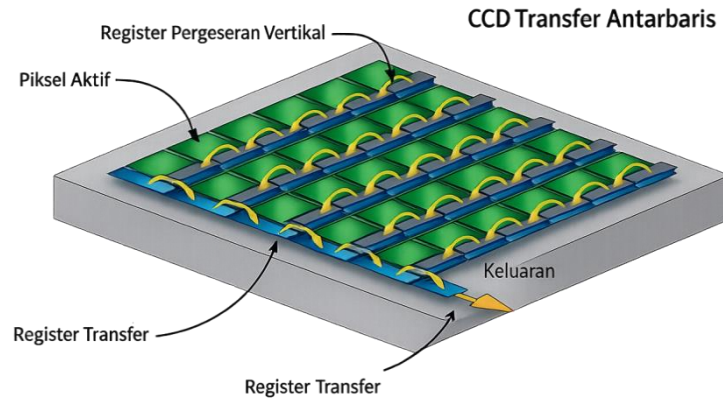
CCD (*Charge Coupled Device*) adalah sensor citra dengan sensitivitas yang sangat tinggi. CCD terdiri dari dioda MOS (*metal oxide semiconductor*) yang tersusun dalam baris dan kolom, yang disebut piksel (Radha *et al.*, 2021). Bagian CCD terdiri dari serangkaian gerbang yang berfungsi memanipulasi tegangan gerbang secara sistematis dan berurutan yang akan memindahkan elektron dari satu gerbang ke gerbang berikutnya seperti sabuk konveyor. Untuk transfer muatan, daerah deplesi harus tumpang tindih. Daerah deplesi sebenarnya adalah gradien, dan gradien harus tumpang tindih agar transfer muatan terjadi, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.18** (Zhihao *et al.*, 2025).



Gambar 2.18 Tiga Fase CCD (Zhihao *et al.*, 2025).

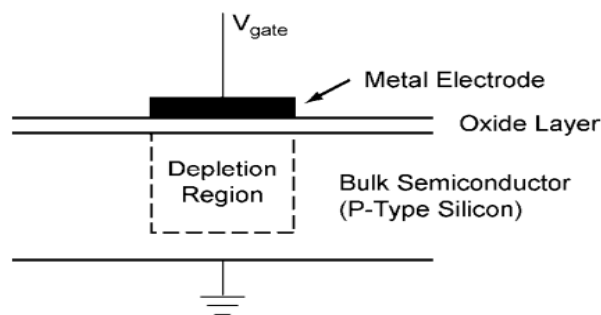
Cara kerja sensor CCD adalah dengan dibiaskan sebelum terpapar cahaya. Pada kondisi bias, lubang-lubang ditempatkan jauh di dalam substrat, tanpa elektron di permukaan. Setelah terpapar cahaya, pasangan lubang elektron terbentuk di wilayah deplesi. Bias ini menciptakan medan listrik yang menggerakkan elektron ke permukaan dan lubang ke substrat yang ditunjukkan pada **Gambar 2.19** Proses

ini melibatkan empat bagian, yaitu konversi fotolistrik, penyimpanan muatan, transfer muatan, dan pendeteksian muatan (RadhaKrishna *et al.*, 2021).



Gambar 2.19 Sensor CCD (Radha *et al.*, 2021).

Ketika foton jatuh pada piksel, elektron akan dihasilkan. Pembangkitan elektron berbanding lurus dengan intensitas pada setiap piksel. CCD *di-clock out* untuk mengukur elektron di setiap piksel dan membentuk gambar. Karena foton terus jatuh pada piksel, jumlah elektron yang dihasilkan juga terus meningkat, yang pada akhirnya akan menjenuhkan elektroda. Untuk menghindari hal ini, cahaya harus dihalangi agar tidak jatuh pada CCD seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.20** (Zhihao *et al.*, 2025).

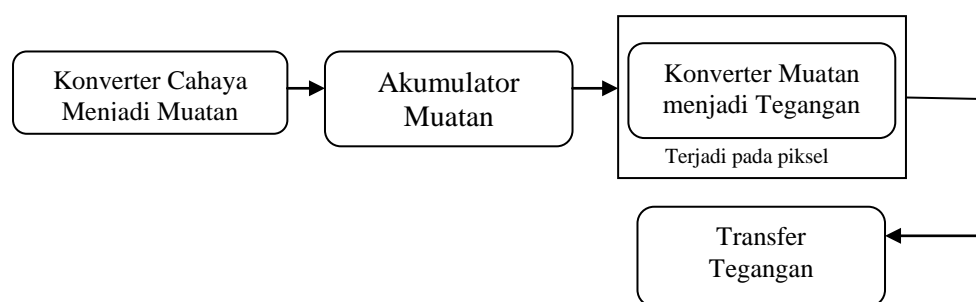


Gambar 2.20 Gerbang MOS (Zhihao *et al.*, 2025).

2.2.10 Sensor CMOS

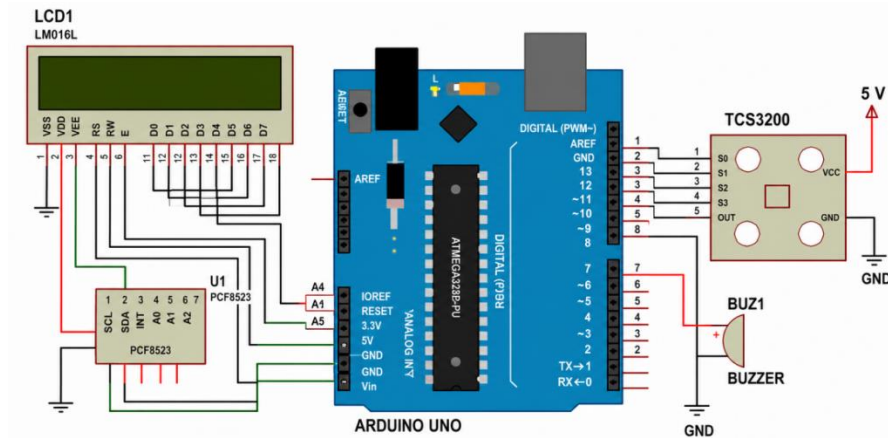
Sensor citra mempunyai tugas untuk mengubah suatu gambar, terdiri dari foton yang dipancarkan atau dipantulkan oleh suatu benda, menjadi sinyal elektronik.

Untuk mendapatkan foton maka harus diserap oleh sensor dan diubah menjadi sinyal listrik. Untuk sebagian besar sensor, ini terjadi menggunakan efek fotolistrik internal. Setelah sinyal listrik didapat dan diproses akan diperoleh gambar elektronik, representasi dari foton yang masuk (Sukhavasi *et al.*, 2021). Energi foton dapat berkisar dari *near infrared* hingga sinar-x. Dalam sistem tomografi optik, terdapat banyak jenis sensor yang digunakan dalam penelitian. Contoh sensor yang banyak digunakan adalah serat optik LED (Light Emitting Diode) dengan fototransistor, laser diode dengan fotodioda, inframerah, CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), dan sensor CCD (*Charge-Coupled Device*) (Jamaludin *et al.*, 2015).



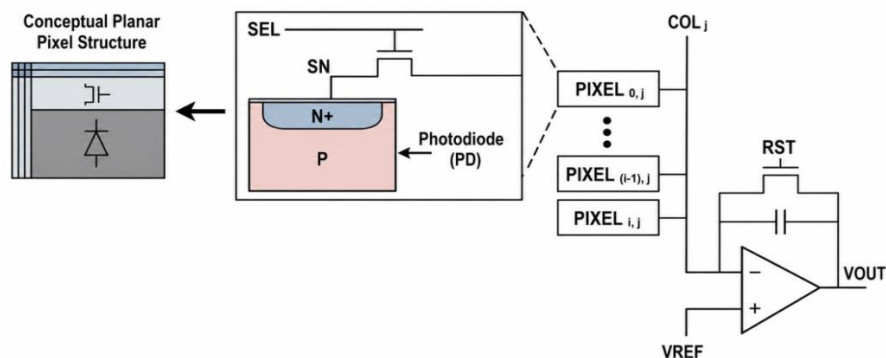
Gambar 2.21 Diagram Blok CMOS (Sukhavasi *et al.*, 2021).

Sensor CMOS terdiri dari serangkaian pixel, yang masing-masing terhubung ke tiga transistor yang berfungsi sebagai sakelar. **Gambar 2.21** menunjukkan diagram blok CMOS Saat cahaya mengenai pixel, yang kemudian diubah menjadi muatan listrik yang diperkuat dan dibaca oleh perangkat elektronik pada chip sensor. Output kemudian diubah menjadi sinyal digital. Setiap pixel pada sensor CMOS sudah memakai sistem chip yang langsung mengkonversi tegangan menjadi data, sementara piksel-piksel pada sensor CCD hanya berupa photodioda yang mengeluarkan sinyal analog sehingga perlu rangkaian terpisah untuk merubah dari analog ke digital (Jamaludin *et al.*, 2015). Keunggulan dari sensor CMOS adalah konsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan sensor CCD karena setiap piksel memiliki rangkaian penguat dan konverter sinyal yang terintegrasi pada chip. Integrasi ini memungkinkan proses pembacaan data dilakukan lebih cepat sehingga sensor CMOS banyak digunakan pada kamera digital, telepon pintar, dan berbagai sistem visi komputer modern (Wang *et al.*, 2024).



Gambar 2.22 *Active Pixel* (Fossum, 2014).

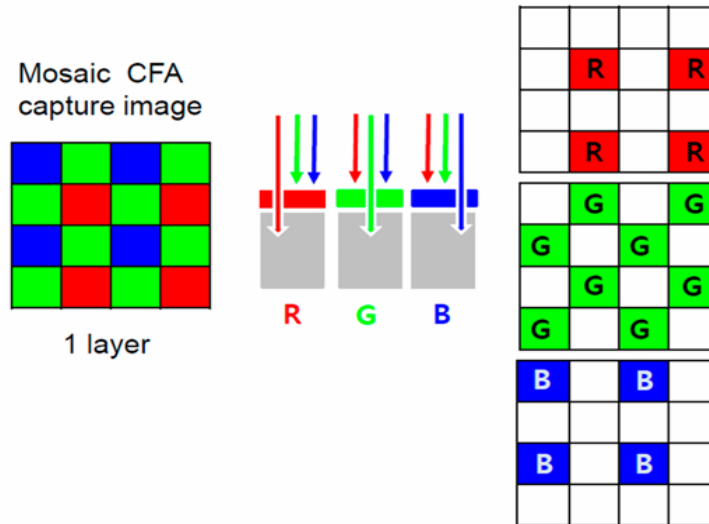
Ada dua tipe sensor CMOS yaitu *Passive pixel* dan *Active Pixel*. **Gambar 2.22** menunjukkan jenis sensor *Active pixel* yang memiliki keuntungan sensitifitas yang tinggi, kecepatan pembacaan tinggi, ukuran array yang besar, konsumsi daya dan biaya yang rendah.



Gambar 2.23 *Passive Pixel* (RadhaKrishna *et al.*, 2021).

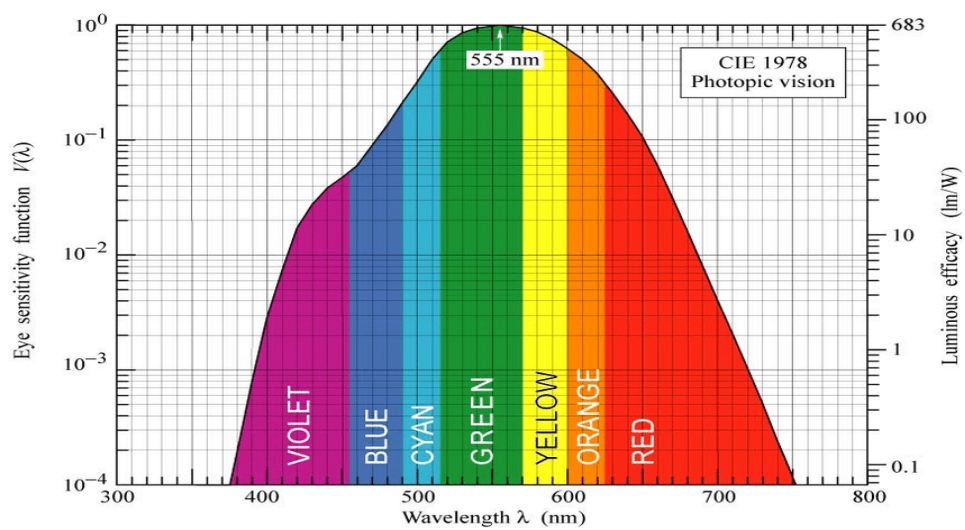
Gambar 2.23 menunjukkan sensor *passive pixel* yang memiliki keuntungan pada faktor pengisian lebih tinggi namun memiliki keterbatasan *noise* yang tinggi, pembacaan lambat dan kurangnya skalabilitas (RadhaKrishna *et al.*, 2021). Setiap piksel dari sebagian besar sensor gambar CMOS komersial ditutupi oleh CFA (*Color Filter Array*). Pada **Gambar 2.24** Setiap piksel hanya menerima rentang panjang gelombang tertentu sesuai dengan transmitansi spektral filter. Konfigurasi CFA dalam CMOS terdiri dari filter R, G, dan B dan mencakup pita lebar ruang warna. Dalam CFA, setiap piksel hanya menangkap satu warna di antara R, G, atau B. Dua nilai warna yang hilang lainnya diperkirakan melalui proses

interpolasi demosaicing atau merekonstruksi citra berwarna penuh dari data sensor kamera yang hanya memiliki sampel warna tidak lengkap (Park *et al.*, 2022).



Gambar 2.24 Intensitas RGB sebagai Panjang Gelombang (Hyeon *et al.*, 2022).

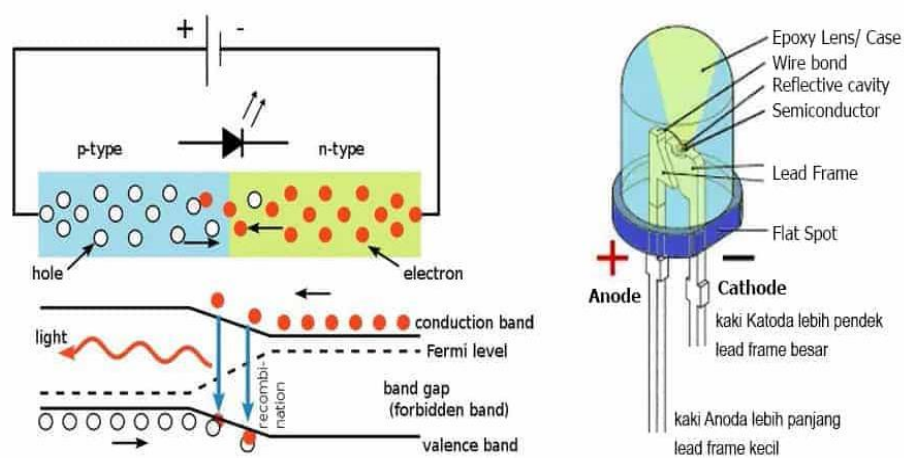
Pixel warna hijau jauh lebih banyak dari filter warna biru dan merah, ini dikarenakan sensitivitas visual manusia yang lebih peka terhadap warna hijau, selain itu lebih sedikit noise. **Gambar 2.25** menunjukkan grafik sensitivitas visual manusia terhadap warna (Hyeon *et al.*, 2022)



Gambar 2.25 Sensitivitas Mata dengan Panjang Gelombang (Hyeon *et al.*, 2022).

2.2.11 Sumber Cahaya

LED (Light-Emitting Diode) adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor (Agusli *et al.*, 2021). Karakteristik LED pada umumnya adalah sama dengan karakteristik diode yang hanya memerlukan tegangan tertentu untuk dapat beroperasi. Namun bila diberikan tegangan yang terlalu besar, LED bisa rusak (terbakar) walaupun tegangan yang diberikan adalah tegangan maju (Santoso & Simatupang, 2021).



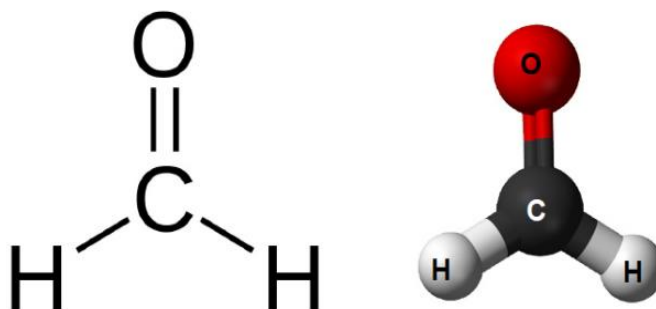
Gambar 2.1 Cara Kerja LED (Santoso dan Simatupang, 2021).

Berdasarkan **Gambar 2.26** ketika LED dialiri tegangan maju atau bias forward yaitu dari Anoda (P) menuju ke Katoda (K), Kelebihan Elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan Hole (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (P-Type material). Saat Elektron berjumpa dengan Hole akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna) (Santoso dan Simatupang, 2021).

2.2.12 Formalin

Formalin merupakan larutan jernih mudah terbakar, berbau tajam, tidak berwarna, dan mudah dipolimerisasi pada suhu ruang, mengandung senyawa formaldehid (HCO) sekitar 37% dalam air. Formalin mempunyai banyak nama atau sinonim, seperti formol, morbicid, methanal, formic aldehyde, methyl oxide,

oxymethylene, methylaldehyde, oxomethane, formoform, formalith, oxomethane, karsan, methylene glycol, paraforin, poly-oxymethylene glycols, superlysoform, tetraoxymethylene dan trioxane (Sebayang *et al.*, 2020). Berat Molekul Formalin adalah 30,03 dengan Rumus Molekul HCOH. Karena kecilnya molekul ini memudahkan absorpsi dan distribusinya ke dalam sel tubuh (Wulandari & Farida, 2020). Berikut struktur formalin yang ditunjukkan pada **Gambar 2.27**.



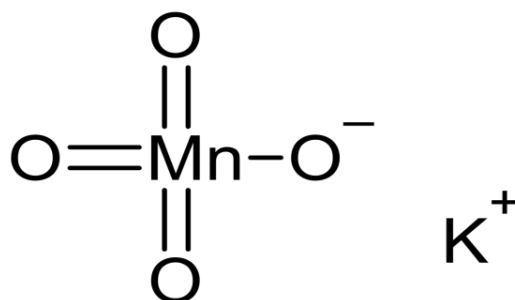
Gambar 2.2 Struktur Formalin (Wulandari & Farida, 2020).

Formalin, yang umumnya digunakan sebagai pengawet non-pangan, sering disalahgunakan untuk mengawetkan produk pangan karena gugus aldehida yang bersifat mudah bereaksi dengan protein membentuk senyawa methylene (-NCHOH) (Fitri & Kusumaningrum, 2021). Dengan demikian, ketika makanan berprotein disiram atau direndam larutan formalin, maka gugus aldehida dari formaldehid akan mengikat unsur protein. Protein yang terikat tersebut tidak dapat digunakan oleh bakteri pembusuk, sehingga makanan berformalin menjadi awet. Selain itu, protein dengan struktur senyawa methylene tidak dapat dicerna (Purawisastra & Sahara, 2011).

Beberapa efek negatif jangka pendek akibat paparan formalin antara lain adalah terjadinya iritasi pada saluran pernafasan dan pencernaan, muntah, pusing. Pengaruh jangka panjang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada hati, ginjal, jantung, limfa dan pankreas serta terjadinya proses penuaan dini. Formalin mempunyai reaksi lebih cepat dibanding boraks, formalin dapat bereaksi cepat pada lapisan lendir saluran pencernaan dan saluran pernafasan (Yulianti, 2021).

2.2.13 Kalium Permanganat (KMnO₄)

Kalium permanganat (KMnO₄) adalah senyawa anorganik berwarna ungu tua yang bersifat oksidator sangat kuat. Dalam larutan air, KMnO₄ terdisosiasi menghasilkan ion permanganat (KMnO₄⁻) yang bertanggung jawab atas aktivitas oksidasinya (Sukowati *et al.*, 2025). Berikut struktur KMnO₄ ditunjukkan pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Struktur KMnO₄ (Afifah *et al.*, 2024).

Sifat kimia KMnO₄ sangat dipengaruhi oleh kondisi pH larutannya. Dalam suasana asam, ion permanganat akan tereduksi menjadi ion mangan(II) (Mn²⁺) yang tidak berwarna, sedangkan dalam suasana netral akan terbentuk endapan mangan dioksida (MnO₂) berwarna coklat. Pada suasana basa kuat, ion permanganat dapat berubah menjadi ion manganat (MnO₄²⁻) yang berwarna hijau. Perubahan warna ini menjadikan KMnO₄ sangat bermanfaat sebagai indikator visual dalam reaksi oksidasi–reduksi serta dalam berbagai metode analisis kualitatif (Siswati *et al.*, 2019). Karena kekuatan oksidasi yang tinggi, KMnO₄ banyak digunakan dalam analisis kimia sebagai oksidator untuk senyawa organik seperti aldehida, alkohol, dan zat pereduksi lain. Secara kimia, Mn dalam KMnO₄ berada pada bilangan oksidasi +7, yang merupakan keadaan oksidasi tertinggi mangan, sehingga mudah mengalami reduksi (Afifah *et al.*, 2024). Reaksi oksidasi tersebut ditandai dengan memudarnya warna ungu KMnO₄, yang menjadi dasar penerapannya dalam metode permanganometri dan uji kualitatif keberadaan senyawa pereduksi. Penggunaan KMnO₄ sebagai metode skrining awal dalam analisis pangan, termasuk untuk mendeteksi adanya zat berbahaya seperti formalin (Yatmin *et al.*, 2025).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 sampai dengan Januari 2026. Kegiatan penelitian ini terdiri dari perancangan dan pembuatan alat, pengujian, dan kalibrasi sensor, pemrograman pencitraan, uji coba alat, pengambilan data, dan analisis data yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Rancangan Jadwal Penelitian

No	Program Kerja	Bulan				
		1	2	3	4	5
1	Perancangan alat	■				
2	Kalibrasi sensor		■			
3	Perangkaian alat		■	■		
4	Uji coba alat			■		
5	Pengambilan data				■	
6	Analisis Hasil				■	■

Tahap pembuatan alat dan pengambilan data dilaksanakan di laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk memprogram rangkaian adalah *Personal Computer* (PC), sedangkan bahan yang digunakan terdiri dari camera dan sumber cahaya eksitasi yang ditunjukkan pada **Tabel 3.2** dan **Tabel 3.3**.

Tabel 3.2 Alat Penelitian

No	Nama	Fungsi
1	<i>Personal Computer (PC)</i>	memprogram dan motode output dari Arduino UNO.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada **Tabel 3.3**

Tabel 3.3 Bahan Penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Kabel jumper	Penghubung Arduino ke rangkaian.
2.	Kamera	Sebagai alat detektor
3.	LED	Sumber cahaya
4.	Resistor	Membatasi arus jika diperlukan oleh sumber cahaya atau sensor
5.	Baterai	Memberikan daya pada sumber cahaya.
6.	Breadboard	Membuat koneksi dalam rangkaian.
7.	Lensa Camera	Memfokuskan cahaya dari objek yang dipotret agar dapat ditangkap oleh sensor kamera.
8.	Saklar Lampu	Mengatur on/off LED

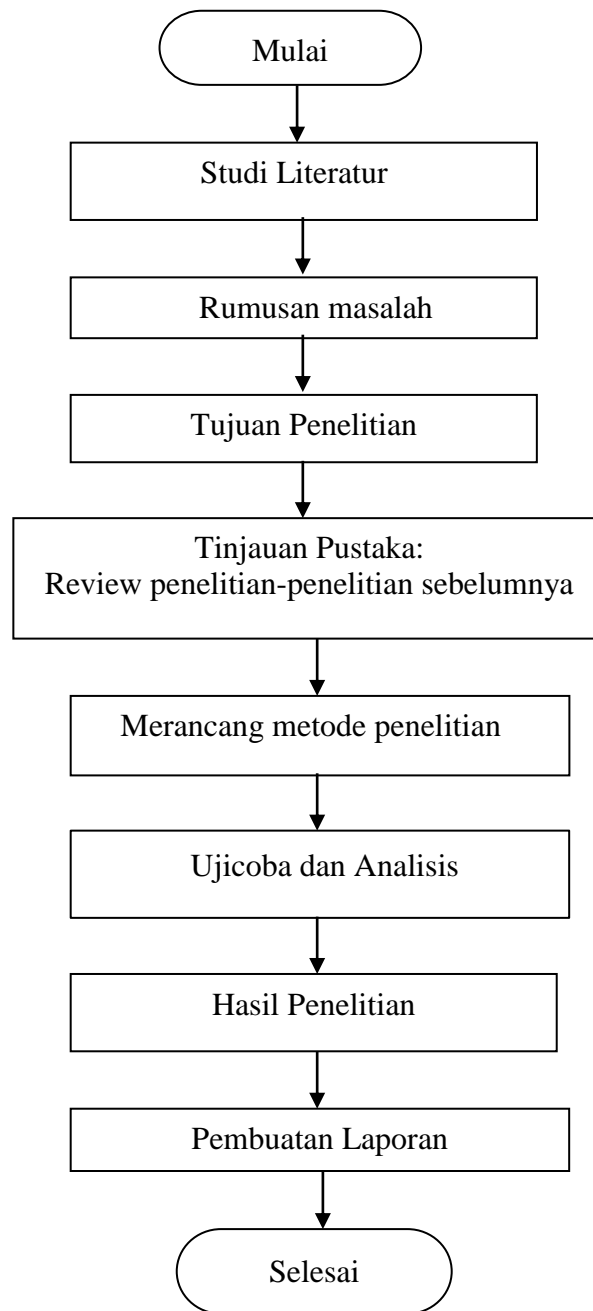
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan ada **Tabel 3.4**

Tabel 3.4 Perangkat Lunak yang digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Visual Code	Menjalankan program dekteksi Formalin.
2	Microsoft Office Word	Menulis laporan penelitian dan Media pembuatan bagan flowchart dan rangkaian elektronika dalam penelitian.

3.3 Prosedur Penelitian

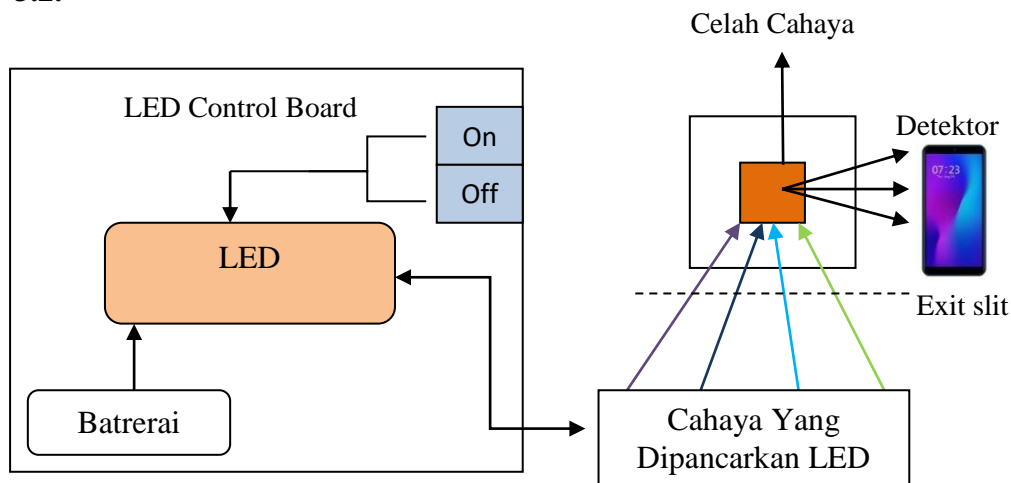
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan formalin pada makanan beku yang beredar di pasaran dengan memanfaatkan metode pengolahan citra digital berbasis nilai RGB. Tahapan penelitian diawali dengan melakukan identifikasi permasalahan melalui pengamatan terhadap kondisi ideal dan kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan. Namun pada kondisi sebenarnya, pengujian formalin masih banyak menggunakan metode kimia konvensional yang memerlukan reagen khusus, biaya yang relatif tinggi, serta proses pengujian yang tidak praktis untuk digunakan secara langsung di lapangan. Perbedaan antara kondisi ideal dan kondisi aktual tersebut kemudian menjadi dasar dalam perumusan masalah serta penentuan tujuan penelitian. Berdasarkan **Gambar 3.1** Tahap berikutnya adalah studi literatur dengan mengumpulkan berbagai referensi yang relevan dari buku, jurnal ilmiah, skripsi, dan sumber ilmiah lainnya. Selanjutnya dilakukan perancangan metode penelitian dengan mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Pada tahap ini dilakukan identifikasi spesifikasi alat, pemilihan bahan penelitian, serta penyusunan prosedur kerja yang akan digunakan selama proses penelitian. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras dirancang untuk menghasilkan kondisi pengukuran yang stabil dengan memanfaatkan sumber cahaya LED, wadah sampel, sistem optik, serta kamera smartphone sebagai sensor citra. Kemudian perangkat lunak dirancang untuk melakukan pengolahan citra digital, ekstraksi nilai RGB, dan menampilkan hasil analisis perubahan warna yang terjadi pada sampel. Tahap terakhir adalah pengujian pada sampel makanan beku yang telah diberikan variasi konsentrasi formalin. Sampel direaksikan dengan larutan KMnO_4 sehingga menghasilkan perubahan warna yang kemudian direkam menggunakan kamera smartphone. Nilai RGB yang diperoleh dari citra sampel dianalisis untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi formalin dengan perubahan warna yang terjadi.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

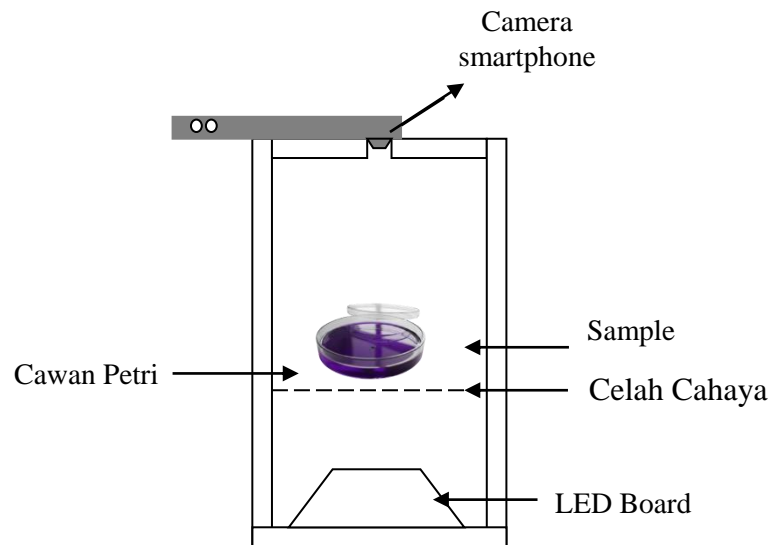
3.3.1. Perancangan Desain Alat

Dalam perancangan alat dan pembuatan desain sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2 Desain *Imaging System*

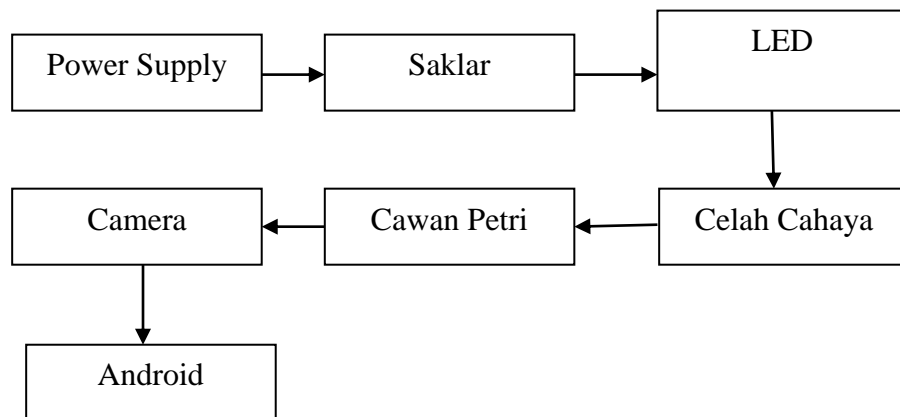
Berdasarkan desain *imaging system* pada **Gambar 3.2**, Pengukuran dilakukan pada ruang gelap untuk meminimalisir cahaya dari luar. Untuk mencegah cahaya latar belakang eksternal memasuki lensa kamera, kamera smartphone diposisikan pada sudut 90 derajat dari Cawan Petri yang berisi sampel, diletakkan tepat diatas celah agar cahaya dapat masuk. Cahaya yang dipancarkan LED kemudian diarahkan menuju sampel melalui celah (*slit*) yang berfungsi untuk mengontrol jalur cahaya agar lebih terfokus dan mengurangi penyebaran cahaya yang tidak diinginkan. Setelah berinteraksi dengan sampel, cahaya yang diteruskan akan diterima oleh detektor berupa kamera smartphone yang menggunakan sensor CMOS. Sensor tersebut mengubah energi cahaya menjadi sinyal digital yang selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk nilai RGB (*Red, Green, Blue*). Nilai RGB yang diperoleh digunakan untuk menganalisis perubahan karakteristik warna sampel akibat variasi konsentrasi formalin. Dengan konfigurasi ini, sistem mampu menghasilkan kondisi pencahayaan yang lebih terkontrol sehingga pengaruh cahaya lingkungan terhadap hasil pengukuran dapat diminimalkan dan akurasi analisis warna menjadi lebih baik.



Gambar 3.3 Ilustrasi Proses Alat Berbasis RGB dengan Smartphone.

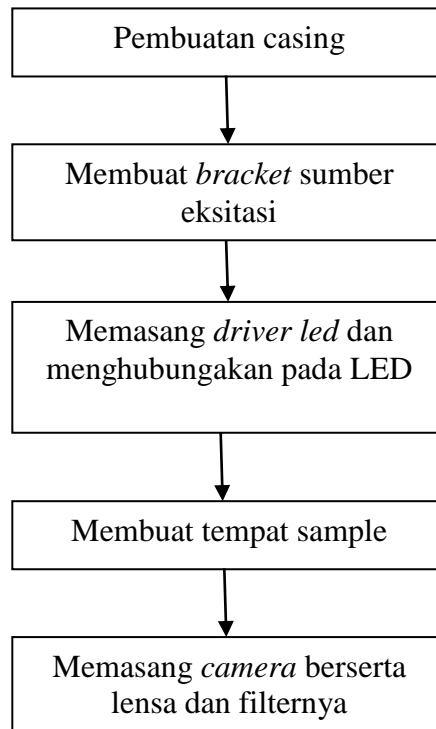
3.3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam melakukan perancangan sistem deteksi adalah Arduino UNO, kamera CMOS, LED, resistor, saklar on/off, smartphone.



Gambar 3.4 Diagram Blok Perangkat Keras RGB

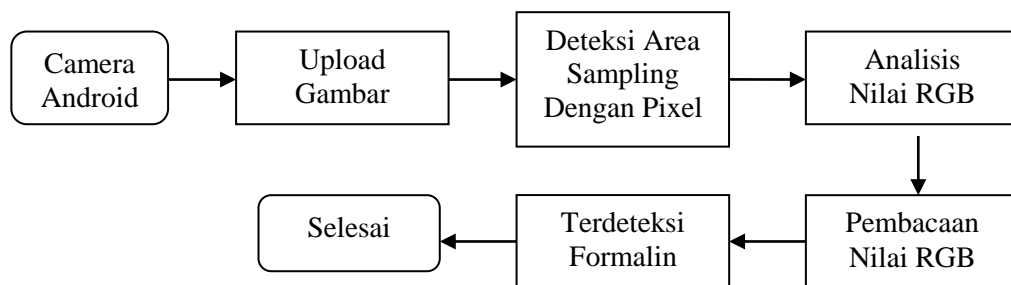
Berdasarkan **Gambar 3.4** sistem dibuat terdiri dari sumber cahaya, sistem optik, sistem kontrol, sistem sensor, mikrokontroler, dan tampilan data. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED. Sensor yang digunakan adalah sebuah kamera jenis CMOS yang berada pada *smartphone* memiliki sensitivitas pada panjang gelombang 315-400 nm yang berada di *smarthphone*. *Exit slit* diletakkan pada bagian bawah kuvet sample, berfungsi untuk memfokuskan cahaya saat melalui sampel. Pada **Gambar 3.5** menunjukkan diagram alir pembuatan perangkat keras.



Gambar 3.5 Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras

3.3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak dilakukan pemrograman berupa pembacaan data sensor, melakukan analisi grafik dengan membandingkan hasil yang ditampilkan pada *software* dengan referensi yang sudah ada. Diagram alir perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan *Software*

Berdasarkan **Gambar 3.6** hal yang pertama dilakukan adalah pemetaan padangan menjadi citra kontinu dengan kamera CMOS yang kemudian akan ditampilkan. Hasil gambar yang ditangkap oleh detektor tersebut kemudian dianalisis dengan

menandai area sampling dengan *grid* piksel 25x25 maka dapat dihitung piksel warnanya, yang kemudian dikalkulasikan menjadi nilai RGB. Sehingga tampilan akhirnya berupa nilai rata-rata RGB. Pemilihan area sampling bertujuan untuk memperoleh area yang paling representatif dan mengurangi pengaruh noise maupun gangguan dari latar belakang. Setiap piksel pada area tersebut dianalisis untuk mendapatkan nilai komponen merah (*Red*), hijau (*Green*), dan biru (*Blue*). perangkat lunak menghitung nilai rata-rata RGB dan menggunakannya sebagai dasar dalam proses klasifikasi sampel. Jika nilai RGB berada pada rentang yang telah ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi, maka sistem akan memberikan keluaran berupa informasi terdeteksi atau tidak terdeteksi formalin.

3.3.4. Pengujian Alat

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang diperlukan sampai larutan KMnO₄ berubah warna untuk mendapatkan nilai perubahan RGB. Dengan menggunakan larutan 1 gr KMnO₄ yang dilarutkan dalam aquades 100 ml (Pratiwi *et al.*, 2019). **Persamaan 3.1** menunjukkan persamaan molaritas pada larutan KMnO₄.

$$M = \frac{\text{massa}}{MR} \times \frac{1000}{v(ml)} \quad (3.1)$$

Selanjutnya, pengukuran konsentrasi formalin yang dibuat dari larutan induk 20% formalin yang diencerkan menjadi 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm. sebagai nilai konsentrasi formalin yang akan digunakan. Dengan cara perhitungan seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 3.2**.

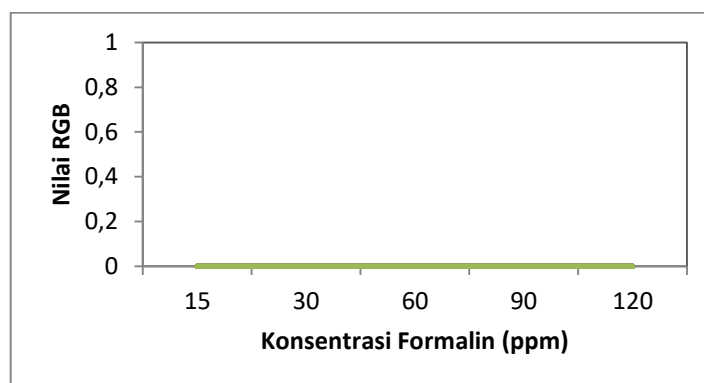
$$PPM = \left(\frac{(\text{massa Formalin (g)})}{(\text{volume larutan (L)})} \right) \times 10^6 \quad (3.2)$$

Kemudian dilakukan pengamatan perubahan warna larutan berdasarkan banyaknya konsentrasi formalin yang digunakan untuk melihat perubahan warna pada larutan terkontaminasi setiap 15 detik sampai detik ke 60 yang akan digunakan sebagai standar waktu pengambilan gambar. Adapun hasil pengamatan yang dimasukkan dalam **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5. Nilai RGB Variasi Waktu dengan Kadar Formalin dalam 0,063 M KMnO_4

Konsentrasi formalin (ppm)	Waktu (s)	Nilai RGB		
		R	G	B
	0			
	15			
	30			
	45			
	60			

Kemudian dari **Tabel 3.5** dapat dibuat grafik untuk melihat laju perubahan nilai RGB dengan penambahan konsentrasi formalin yang digunakan seperti pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Nilai RGB dengan Variasi Waktu

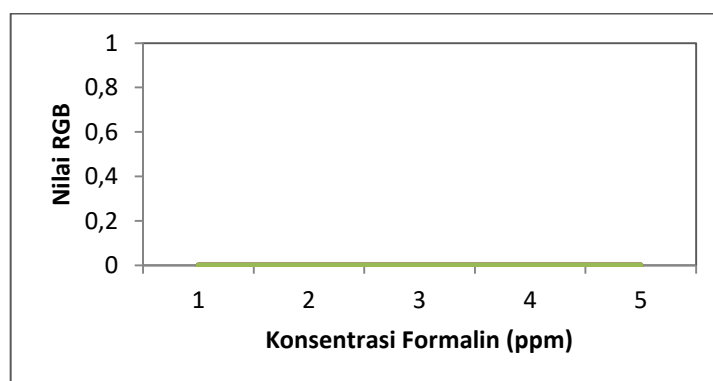
3.3.5. Pengukuran Sampel dengan Nilai RGB

Untuk pengujian selanjutnya menggunakan sampel makanan yang direndam dengan variasi kontaminan formalin, yakni 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm yang kemudian dilarutkan dengan aquades 100 ml per sampel yang akan di uji coba, lalu disaring untuk menghilangkan sisa-sisa sampel. Pada pengukuran ini digunakan 2 ml larutan dari sampel, yang kemudian direaksikan dengan larutan 0,063 KMnO_4 sebanyak 2ml. Hasil nilai analisis ini ditunjukkan pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.6. Pengukuran Sampel dengan Kontaminan Formalin 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm.

Jenis Sampel	Konsentrasi Formalin (ppm)	Percobaan ke-	Nilai RGB		
			R	G	B
	0				
	50				
	100				
	150				

Hasil data pengujian RGB pada sampel makanan beku untuk setiap nilai biru (B) akan diplotkan kedalam grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 3.8** di bawah ini.



Gambar 3.8 Grafik Nilai RGB pada Sampel *Frozen Food*

Berdasarkan data hasil **Tabel 3.6** dilakukan perhitungan nilai saturasi untuk mengukur kejenuhan dari data yang didapat dengan cara menormalisasi nilai RGB seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 3.3**.

$$R' = \frac{R}{255}, G' = \frac{G}{255}, B' = \frac{B}{255} \quad (3.3)$$

Kemudian menentukan nilai maximal dan minimal hasil dari normalisasi RGB. sehingga dapat dilakukan perhitungan saturasi dengan metode HSL

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil analisis sistem deteksi formalin pada makanan beku menggunakan nilai RGB citra sampel, yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa jika konsentrasi formaldehida ditingkatkan, maka intensitas kanal biru akan menurun secara bertahap, sedangkan kanal merah dan hijau relatif lebih stabil. Dengan demikian, nilai RGB dapat digunakan untuk membedakan sampel yang mengandung formalin dan yang tidak, terutama melihat perubahan pada kanal *Blue* (B).
2. Perbedaan kadar formalin sangat berpengaruh terhadap laju perubahan warna KMnO_4 pada makanan beku. Semakin tinggi kadar formalin, maka semakin besar perubahan warna KMnO_4 yang terjadi. Hal ini terjadi karena formaldehida yang terkandung dalam formalin bertindak sebagai reduktor yang bereaksi dengan ion permanganat melalui reaksi oksidasi-reduksi. Reaksi ini menyebabkan warna ungu KMnO_4 mengalami perubahan, yaitu degradasi.

5.2 Saran

Saran pada penelitian selanjutnya, sistem dapat diperluas dengan menambahkan data sampel dan kalibrasi standar, sehingga hasil analisis tidak hanya bersifat indikatif, tetapi dapat memberikan estimasi kadar formalin yang lebih tepat dan diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan sensor kamera yang lebih sensitive dalam menangkap perubahan warna pada sampel.

Daftar Pustaka

- Adinda, T., Mukson, & Prasetyo, E. (2021). Keputusan Konsumen Dalam Pembelian Chicken Nugget Di Kota Semarang. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian Agribisnis*, 15(3), 1–14.
- Aditya, M. R. V., Latifah, H. N., Pratama, Andika, D., Silvia, A., & Handayani. (2020). Penerapan Sistem Pengolahan Citra Digital Pendeteksi Warna Pada Starbot. *Jurnal Teknik*, 14(10), 185–191.
- Afifah, Z. P., Kusumawati, N., & Farpina, E. (2024). Identifikasi Kandungan Formalin Pada Sosis Yang Dijual Di Pasar Rakyat Harapan Baru. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, 9(2), 153–159.
- Agusli, R., Setiyanto, R., & Maulana, F. (2021). Sensor Jarak Aman Saat Menonton Televisi Pada Anak Berbasis Arduino. *Sisfotek Global*, 11(1), 8–14.
- Aida, F., Nola, F., Andriani, N., Utami, R., & Nurfadhila, L. (2023). Review Articele Review : Circular Analysis Of The Use Of Legal And Illegal. *Journal Of Pharmaceutical And Sciences*, 6(1), 118–126.
- Andrasromo, D., Idrus, S. H., Faculty, G., Oleo, U. H., Guidance, C., Nopember, U. S., & Oleo, U. H. (2024). Risk Mapping Using Gis And And Analysis At Nanga Pinoh West Enhancing Accuracy In Detection Counting Of Islands Using Kalimantan Area A Case Study Of Kepulauan Seribu , Dki Jakartaimage Analysis. *Of Of*. 54(3), 169–179.
- Amrullah, D. L., Swedia, E. R., Cahyanti, M., & Dwi Septian, M. R. (2022). Implementasi Color Detection Menggunakan Algoritma Midpoint Berbasis Sistem Operasi Android. *Jurnal Sebatik*, 26(1), 121–130.
- Atmaja, A. S. P. (2025). Implementation Of Grayscale Image Transformation And Histogram Equalization Methods In Digital Image Processing. *Issn*, 4(2), 2808–3520.
- Attamimi, H., Syauqy, D., & Fitriyah, H. (2022). Sistem Klasifikasi Saus Cabai Mengandung Formalin Dengan Sensor Tcs3200 Dan Sensor Groove-Hcho Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor Berbasis Arduino, *Jurnal Pengembangan Ilmu Komputer*, 6(1). 268-274.

- Baskoro, F., & Susanto, R. (2020). Rancang Bangun Pendeteksi Formalin Dan Rhodamin B Berbasis Arduino, *JEECOM*, 2(2), 26–35.
- Cairns, D. M., Smiley, B. M., Smiley, J. A., Khorsandian, Y., Kelly, M., Itzhaki, R. F., & Kaplan, D. L. (2025). Repetitive Injury Induces Phenotypes Associated With Alzheimer ' S Disease By Reactivating Hsv- - 1 In A Human Brain Tissue Model. *Science Signaling*, 18(8), 1–10.
- Cao, S., Liu, Y., Zhao, L., Cao, X., Wang, X., Zheng, M., & Pan, H. (2019). Rapid , Wide-Range , And Low-Cost Determination Of Formaldehyde Based On Porous Silica Gel Plate By. *Jurnal Proceedings*, 42(1), 2–7.
- Molina, P., D., Rojas, L, A., G. (2024). Resolving Contrast and Detail Trade-Offs in Image Processing with Multi-Objective Optimization. *Mathematical and Computational Application*, 29(6). 1-22.
- Desiani, A., Zayanti, D. A., Primartha, R., Efriliyanti, F., Avisia, N., & Andriani, C. (2021). Variasi Thresholding Untuk Segmentasi Pembuluh Darah Citra Retina. *Jurnal Ilmiah Sinus*, 7(2), 255–262.
- Ermawati, E., Karim, H., Azis, A., Taufiq, T., Noer, S. F. N., Lindriani, L., & Arnianti, A. (2023). Dampak Negatif Bahan Tambahan Pangan Bagi Kesehatan Dan Pencegahannya. *Journal Of Training And Community Service Adpertisi (Jtcsa)*, 3(1), 61–64.
- Erwanto, D., Utomo, Y. B., Fiolana, F. A., Yahya, M., Iodimetri, T., & Warna, T. R. (2019). Pengolahan Citra Digital Untuk Menentukan Kadar Asam Askorbat Pada Buah Dengan Metode Titrasi Iodimetri. *Jurnal Ilmiah Multitek Indonesia*, 6223(2), 73–84.
- Fachrunnisa, Usman, A., & Khairani, M. (2024). Implementasi Noise Removal Dan Image Enhancement Pada Citra Digital Menggunakan Metode Adaptive Median Filter. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi*, 3(1), 11–20.
- Fadjeri, A., Saputra, B. A., Adri Ariyanto, D. K., & Kurniatin, L. (2022). Karakteristik Morfologi Tanaman Selada Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Ilmiah Sinus*, 20(2), 1.
- Fahtoni, M. A., Cahyono, E., Arman, & Ransi, N. (2023). Analisis Median Filter Terhadap Reduksi Noise Pada Citra Digital. *Jurnal Jurusan Matematika*, 3(3), 491–499.
- Felix, L. D., Solomon, O., & Adesoji, A. (2018). Kinetics of Acidic Potassium Permanganate Corresponding. *Carib.j.SciTech*, 6(1), 9–17.
- Firma, A., & Oktamuliani, S. (2022). Pengolahan Filtering Dan Contrast Enhancement Untuk. *Jop*, 8(1), 51–54.

- Fitri, Z. E., & Kusumaningrum, I. M. F. K. (2021). Analisis Keamanan Pangan Melalui Identifikasi Kandungan Boraks, Formalin, Dan *Escherichia Coli* Pada Bakso Ikan Di Kota Tanjungpinang. *Jurnal Agroindustri Halal* 7(2), 126–133.
- Gazali, W., Soeparno, H., & Ohliati, J. (2012). Penerapan Metode Konvolusi Dalam Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Mat Stat*, 12(2), 103–113.
- Haryarta, G., Rakhmadi, F. A., & Fajriati, I. (2021). Analisis Cilok Terkontaminasi Boraks Menggunakan Sistem Spektroskopi Fluoresensi Berbasis High Power Uv-Led. Sunan Kalijaga, *Journal Of Physics*, 3(3), 28–35.
- Heriyanti, Samsidar, Iful, A., Jesi, P., Rustan, Linda, H., Peslinof, M., Desi, A., & Sutrisno. (2021). Study Awal Karakterisasi Sensor Warna Tc320. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 52–57.
- Hidayat, E. P. (2022). Identifikasi Formalin Pada Sosis (Frozen) Di Pasar Tradisional Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang. *Jurnal Fisika Unand*, 11(2), 235-241.
- Hyeon, J. S., Kim, S. H., & Kim, H. J. (2022). A Low-Power Cmos Image Sensor With Multiple-Column-Parallel Readout Structure. *Journal Of The Electron Devices Society*, 10(6), 180–187.
- Intan, D., Saputra, S., Pranata, T. B., & Handani, S. W. (2016). Prototype Aplikasi Pengolah Citra Invert Sebagai Media Pengolah Klise Foto. *Citisee*, 5(6), 23–24.
- Jamaludin, J., Abdul, R., Abdul, H., Fazalul, H., Zarina, S., Muji, M., & Mohd, N.S. (2015). Jurnal Teknologi Full Paper Introducing An Application Of A Charged Coupled Device (Ccd) In An Optical Tomography System. *Jurnal Teknologi*, 3(2), 97–102.
- Jeevaraj, P. S. E., & Archana, R. (2024). Deep Learning Models For Digital Image Processing : A Review. In *Artificial Intelligence Review. Springer Netherlands*, 57(1), 29-33.
- Jiang, C., Jiang, Z., & Shi, D. (2022). Analysis Model Of Image Colour Data Elements Based On Deep Neural Network. *Computational Intelligence And Neuroscience*, 1(1), 1-12.
- Juandri, & Anwar, N. (2023). Pengenalan Warna Terhadap Objek Dengan Model Analisis Elemen Data Warna Gambar Berbasis Deep Neural Network. *Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(01), 23–31.
- Kafiar, F. P., & Salim, I. (2020). Analisis Kandungan Formalin Pada Ikan Kakap Segar Dan Ikan Kakap Kering (Asin) *Jurnal Kimia*, 4(July 2019), 41–51.

- Karimuna, L., Asyik, N., & Teknologi Dan Ilmu Pangan, J. (2016). Analisis Formalin Pada Ikan Asin Di Beberapa Pasar Tradisional Kota Kendari (Formalin Analysis Of Salted Fish In Some Traditional Markets Kendari). *Jurnal Sains Dan Teknologi Pangan*, 1(1), 2527–6271.
- Kristiandi, K., Mahmuda, D., & Yunita, N. F. (2022). Pendampingan Pembuatan Dan Pengemasan Frozen Food Pada Ibu Rumah Tangga. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 216–222.
- Kusumanto, R. D., & Tompunu, A. N. (2011). Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi Rgb. *Semantik*, 1–7.
- Lewerissa, S., Leiwakabessy, J., Nanlohy, E. E. E. ., & Mailoa, M. N. (2023). Deteksi Formalin Pada Ikan Teri (*Stolephorus Sp.*) Asin Kering Yang Dijual Di Pasar Tradisional Kota Ambon, *Jurnal Biopedix*, 9(2), 237–241.
- Lima, R. K., Doo, S. Y., Pollo, D. E. D. G., Elektro, P. T., Nusa, U., & Kupang, C. (2024). Analisis Perbandingan Reduksi Noise Menggunakan Metode Mean , Median Dan Contra-Harmonic Mean Filtering Pada Citra Grayscale Pola Tenunan Daerah Provinsi Nusa Tenggara Timur A Comparative Analysis Of Noise Reduction Using Mean , Median And Contra-Harmonic Mean Filtering Methods On The Grayscale Image Of Weaving Pattern. *JETT*. 11(1), 9–15.
- Musakkir, M., Nurtanio, I., & Zainuddin, Z. (2024). Estimasi Bobot Ikan Bandeng Menggunakan Segmentasi Citra Biner. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Dan Teknik Informatika*, 7(1), 24–35.
- Nugroho, G. S., & Hazmin, G. (2022). Perbandingan Algoritma Untuk Mereduksi Noise Pada Citra Digital. *Journal of Information Technology Ampera*, 3(2), 159–175.
- Nurhalisa, W. S., Sajiah, A. M., & Saputra, R. A. (2025). Identifikasi Citra Daging Ayam Berformalin Menggunakan Fitur Warna Hue Saturation Value (Hsv). *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 9(1), 1160–1167.
- Nurliadi, Sihombing, P., Ramli, & Marwan. (2016). Analisis Contrast Stretching Menggunakan Algoritma Euclidean Untuk Meningkatkan. *Jurnal Teknovasi*, 3(1), 26–38.
- Okoro, H. K., & Odebunmi, E. O. (2009). Kinetics And Mechanism Of Oxidation Of Sugar And Sugar Alcohols By $Kmno_4$. *Journal of Physical Sciences*, 4(9), 471–476.
- Oni, M., Kanata, B., & Ratnasari, D. (2021). Berdasarkan Warna Pada Ruang Warna Hsv. *Dielektrika*, 8(2), 137–146.

- Park, H. W., Choi, J. W., Choi, J. Y., Joo, K. K., & Kim, N. R. (2022). The Spectrum Of Light Emitted By Led Using A Cmos Sensor-Based Digital Camera And Its Application. *Sensors*, 22(17), 2-11.
- Permata, E., Denny, Y. R., & Akram, I. (2021). Development Of Formaldehyde Detector In Salted - Fish Using Color Sensor. 7(2), 68–77.
- Phuangsaikai, N., Jakmune, J., & Kittiwachana, S. (2021). Investigation Into The Predictive Performance Of Colorimetric Sensor Strips Using Rgb , Cmyk , Hsv. *Journal Of Analytical Science And Technology*, 9(12), 1–16.
- Pramudiya, R., Cerwyn, A., Aldo, K., & Sardika, R. P. (2025). Deteksi Pornografi Pada Citra Karakter Animasi Dengan Hsv Dan Ycbr Menggunakan Naïve Bayes. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi Dan Komputer*, 10(1), 337–347.
- Purawisastra, S., & Sahara, E. (2011). The Adsorption Of Formaldehyde By Some Foodstuffs And Its. *Jurnal Pgm*, 34(1), 63–74.
- Putri, A. R. (2016). Pengolahan Citra Dengan Menggunakan Web Cam Pada Kendaraan Bergerak Di Jalan Raya. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Informatika*, 1(1), 1–6.
- Rabbani, H. A., Rahman, M. A., & Rahayudi, B. (2021). Perbandingan Ruang Warna Rgb Dan Hsv Dalam Klasifikasi Kematangan Biji Kopi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 5(6). 2243-2248.
- Radha, R., Govindh, M. V., & Veni, P. K. (2021). A Review On Image Processing Sensor. *Journal Of Physics*, 1714(1), 1–8.
- Rasiman, Y., Ketty, Y., & Ike, R. (2024). Gelombang Elektromagnetik (Gem) Telepon Seluler Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Tni Angkatan Udara*, 2(1). 1-6.
- Ratulangi, W. R., & Widyan, R. (2024). Uji Kualitatif Dan Organoleptik Kandungan Formalin Pada Hasil Laut Yang Dikeringkan Berupa Ikan Teri , Cumi , Dan Rebon Dari Pasar Pagesangan. *Jurnal Sains Natural*, 2(1), 2–5.
- Riadi, A. A., Chamid, A. A., & Akh. Sokhibi. (2017). Analisis Komparasi Metode Perbaikan Kontras Berbasis Histogram Equalization Pada Citra Medis. *Jurnal Simetris*, 8(1), 383–388.
- Riyanto, S., Budi, W. S., & Agung, S. (2019). Pengaruh Arus Tabung Terhadap Noise Dan Kontras. *Jurnal Berkala Fisika*, 22(3), 105–109.
- Sahrianti, N. (2021). Identifikasi Kandungan Senyawa Formalin Pada Ikan Kering Di Pasar Tradisional Sempo Pasangkayu Nini Sahrianti S. *Jurnal Kesehatan*, 12(3), 60–62.

- Santoso, F. H., & Simatupang, J. W. (2021). Lampu Led Serial NI500 Sebagai Lampu Hemat Energi Untuk Tambang Batu Bara. *Journal Of Industrial Engineering*, 06(2), 80–91.
- Saukova, Y. N. (2024). Исследование линейности методов измерений цвета в колориметрии цифровых изображений Linearity Study of Color Measurement Methods in Digital Image Colorimetry. *Jurnal RCSI*, 20(2), 77–97.
- Sebayang, R., Kencana, K. B., & Samosir, I. (2020). Pemberian Larutan Garam Terhadap Penurunan Kadar Formalin Pada Tahu. *Jurnal Keperawatan Silampari*, 3(2), 587–596.
- Setyawan, G. C., & Mendrofa, Y. M. S. (2021). Segmentasi Citra Gesture Tangan Berbasis Ruang Warna Hsv. *Ukrim*, 6(2), 36–51.
- Shalaby, A. A., & Salem, A. M. (2018). Rsc Advances The Yxy Colour Space Parameters As Novel. *Rsc Advances*, 8(19), 10673–10679.
- Sikanna, R. (2016). Nalisis Kualitatif Kandungan Formalin Pada Tahu Yang Dijual Dibeberapa Pasar Di Kota Palu. *Kovalen*, 2(2), 85–90.
- Sindar, S. A., Damayanti, A., & Febriyanti, S. (2025). Analisis Pengurangan Derau Pada Restorasi Citra Ulos. *Jurnal SAINTIKOM*. 24(1), 39–47.
- Siswati, N. D., Hanif, K. G., & Naufaldy, W. P. (2019). Kajian Penambahan Oksidator Terhadap Sifat Penyalaan Briket Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia*, 14(1), 5–9.
- Sobari, E. (2019). *Dasar-Dasar Proses Pengolahan*. Subang: Polsub Press.
- Soda, Y., Robinson, K. J., Cherubini, T. J., & Bakker, E. (2020). Lab On A Chip Quantitation On Paper-Based Analytical Devices. *The Royal Society Of Chemistry*, 1(20), 1441–1448.
- Sukhavasi, S. B., Sukhavasi, S. B., Elleithy, K., & Abuzneid, S. (2021). Cmos Image Sensors In Surveillance System Applications. *Sensor*, 21(2), 3–50.
- Sukowati, D., Yuwono, T. A., & Sarmin. (2025). Analisis Pengaruh Penambahan Senyawa Oksidator $Kmno_4$ Terhadap. *Jurnal Agroteknika*, 8(November 2024), 28–38.
- Surnaryo, Arifianto, T., & Arifidin, M. A. A. (2024). Pengembangan Sistem Pengambilan Data Visual Permukaan Rel Kereta Api Menggunakan Teknik Pengolahan Citra. *Jurnal Informatika*, 24(1), 33–41.
- Ulya, M., Aronika, N. F., & Hidayat, K. (2020). Pengaruh Penambahan Natrium Benzoat Dan Suhu Penyimpanan Terhadap Mutu Minuman Herbal Cabe Jamu Cair. *Journal Of Science And Technology*, 13(1), 77–81.

- Ummah, K. R., Priyawati, D., Badriyah, J., Surakarta, U. M., Madura, U., Yani, J. A., Tengah, J., Panglegur, J. R., & Timur, J. (2025). Optimasi Kontras Dan Ketajaman Citra Pada Pengenalan Makanan Indonesia Berbasis Machine Learning. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 27(2), 132–141.
- Wahyudi, J. (2017). 3 Mengenali Bahan Tambahan Pangan Berbahaya : Ulasan Identifying Hazardous Materials For Food Additive: A Review. *Jurnal Litbang*, 13(1), 3–12.
- Wang, Y., Zhang, H., Liu, Li, J., & Chen, Z. (2024). Recent Advances in CMOS Image Sensor Technology: Performance Enhancement and Applications. *Sensors*, 24(3), 9-12.
- Wati, R. L., Rosdiana, E., & Kusumaningtyas, V. A. (2021a). Jurnal Sains Dan Kesehatan. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 3(5), 727–736.
- Wati, R. L., Rosdiana, E., & Kusumaningtyas, V. A. (2021b). Rancang Bangun Pendeteksi Kadar Formalin Pada Mie Basah Menggunakan Sensor Warna Tcs3200. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 3(5), 727–736.
- Wulandari, A., & Farida, N. (2020). Hasil Uji Penggunaan Boraks Dan Formalin Pada Makanan Olahan. *Jurnal Info Kesehatan*, 10(1), 279–288.
- Yasir, A., Satria, W., & Yuanda, P. (2023). Digital Image Processing Metode Median Filtering Dan Morfologi Opening Dalam. *Warta Dharmawangsa*, 17(4), 1687–1701.
- Yatmin, Fizzaria, K., Cahyaningrum, S. A., & Rakhmiati1. (2025). Pengaruh Konsentrasi Dan Jenis Bahan Pembawa $Kmno_4$ (Kalium Permanganat) Sebagai Absorben Etilen Terhadap Kualitas Tomat (*Lycopersicum Esculentum* Mill). *Jurnal Tanaman Pangan Dan Hortikultura*, 7(2), 81–90.
- Yeuseyenka, Melnikau, & Yemelyanov. (2022). Detection And Selection Of Moving Objects In Video Images Based On Impulse And Recurrent Neural Networks. *Journal Of Data Analysis And Information Processing*, 10(2), 127–141.
- Yudono, B. (2017). *Spektrometri*. Palembang: SIMETRI.
- Yulianti, C. H. (2021). Perbandingan Uji Deteksi Formalin Pada Makanan Menggunakan Pereaksi Antilin Dan Rapid Tes Kit Formalin (Labstest) Comparison Of Formalin Detection Test In Foods Using Antilin Reagent And Formalin Rapid Test Kit (Labtest). *Journal Pharmasci*, 6(1), 53–58.
- Zhihao, S., Chen, G., Jiaming, S., Zhuang, Shichao, Z., & Ma, S. (2025). Displacement Measurement With Ccd Moiré Method Considering The Relative Rotation Of Gratings. *Jurnal Optics Express*, 33(1), 1111–1131.

Zuraida, Syamsyul, & Rachmawati. (2024). Berformalin Menggunakan Metode Naive Bayes Classifier Dan K-Nearest Neighbor. *Jurnal Teknik Informatika dan Terapan*, 8(1), 150–156.