

# Deteksi Dini Karies Gigi dengan Metode *Fluoresen Optik* pada *Saliva*

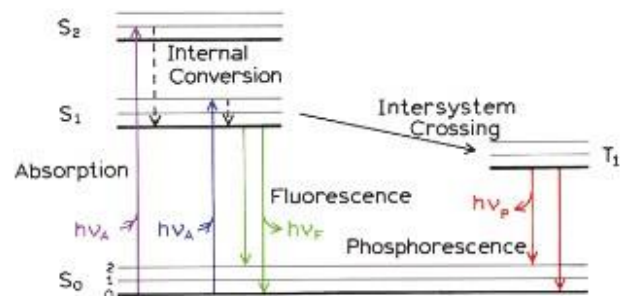
Immanuel Mayerd, Totok Mujiono, dan Muhammad Rivai  
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: totok\_m@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Menurut Riset Kesehatan Dasar Nasional, dari populasi penduduk Indonesia tahun 2018 penderita penyakit karies gigi mencapai 80%. Tindakan deteksi dini sebelum karies semakin parah sangatlah penting. Metode deteksi dini karies sekarang ini hanya tersedia di rumah sakit dan hanya bisa dilakukan oleh dokter gigi. Penelitian ini menawarkan ide dengan menggunakan metode Fluoresen Optik. Prinsipnya adalah dengan memanfaatkan biomarker Matriks Metalloproteinase-8 (MMP-8) pada saliva, yang dapat bereaksi secara inhibit dengan kurkumin yang memiliki sifat fluoresen. Kandungan MMP-8 akan semakin bertambah dengan bertambahnya jumlah karies gigi ataupun tingkat keparahannya. Dengan menggunakan kurkumin yang bersifat fluoresen, reaksi antara kurkumin dan MMP-8 akan dimanfaatkan. Prinsipnya adalah sampel yang berupa campuran saliva dan kurkumin akan dikenai cahaya UV yang kemudian akan menghasilkan emisi cahaya fluoresen yang dapat diakuisisi oleh sensor AS7262 untuk kemudian dikirim ke komputer untuk dianalisis dan dilatih tiga jenis algoritma yakni ANN, KNN dan SVM. Klasifikasi yang digunakan menggunakan standar American Dental Association (ADA) dan klasifikasi biner (positif/negatif). Model dengan akurasi terbaik dihasilkan oleh algoritma dengan klasifikasi biner. Model ANN, KNN dan SVM untuk klasifikasi biner memiliki akurasi validasi yang masing-masing nilainya adalah 90%, 80% dan 60%. Sensitivitas pengklasifikasian pada metode ini cukup baik dibandingkan dengan metode konvensional yang ada.

**Kata Kunci**—Cahaya UV, Fluoresen, Karies, Kurkumin, MMP-8, Sensor AS7262.

## I. PENDAHULUAN

**K**ARIES gigi adalah penyakit yang terjadi akibat interaksi kompleks antara bakteri penghasil asam yang ada di mulut dengan karbohidrat yang terfermentasi. Asam yang terdapat pada plak gigi akan menyebabkan demineralisasi email dan dentin pada permukaan halus gigi sehingga karies gigi dapat menyebabkan gigi berlubang. Penyakit ini sangat umum ditemukan di Indonesia. Menurut Riset Kesehatan Dasar Nasional Tahun 2018 yang dipublikasikan oleh Badan Litbangkes Kemenkes RI, Penderita karies di Indonesia mencapai 80% dari populasi penduduk Indonesia dengan lebih dari 90% penderitanya adalah anak-anak usia dini. Penyakit ini dapat menurunkan produktivitas, menjadi sumber infeksi, dan dapat menyebabkan kehilangan gigi sehingga penanggulangan atau pencegahan terhadap penyakit ini menjadi sangat penting [1]. Salah satu cara untuk mencegah karies gigi adalah dengan melakukan deteksi dini terhadap penyakit tersebut, sehingga penanganan yang intensif dapat dilakukan sebelum seseorang menderita karies gigi atau sebelum penyakitnya menjadi parah. Namun, sayangnya alat dan metode deteksi dini yang ada saat ini hanya tersedia di rumah sakit atau klinik tertentu dan hanya bisa didiagnosis oleh tenaga profesional seperti dokter gigi. Beberapa alat yang biasa digunakan dalam mendeteksi karies



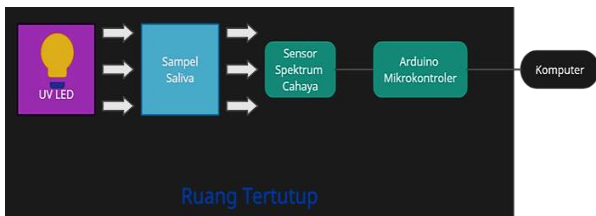
Gambar 1. Ilustrasi Diagram Jablonski.

Tabel 1.  
Rincian alat dan bahan.

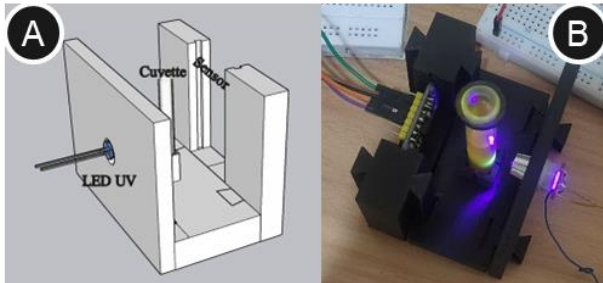
No.	Nama	Keterangan
1	Board Arduino Uno	Mikrokontroler
2	Sensor AS7262	Sensor cahaya
3	LED UV 395-400nm	Sumber eksitasi
4	Power supply 5V	Sumber tenaga
5	Colorcompass MFA	Kalibrator
6	Etanol	Pelarut kurkumin
7	Kurkumin murni	Fluorophore.
8	Alat laboratorium kimia	Alat bantu pembuatan larutan kurkumin
9	Sampel saliva pasien	Sumber data

gigi saat ini adalah *DIAGNOdent* dan Rontgen, alat-alat tersebut memiliki harga yang cukup mahal. Dari beberapa poin di atas, penulis menilai pentingnya menemukan alternatif yang baik untuk menjadi solusi masa kini.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, banyak ditemukan *biomarker* baru yang dapat dimanfaatkan sebagai solusi berbagai permasalahan kesehatan. Salah satunya adalah enzim Matriks Metalloproteinase 8 (MMP-8). MMP-8 merupakan enzim yang terdapat pada saliva (air liur) dari seseorang. Enzim tersebut akan semakin banyak diproduksi sejalan dengan bertambahnya kerusakan struktur gigi (karies). Enzim tersebut dapat bereaksi dengan larutan kurkumin secara inhibit. Kurkumin adalah zat yang terdapat pada kunyit yang memiliki sifat fluoresen terutama saat disinari dengan sinar ultraviolet dan dapat bereaksi dengan enzim MMP-8. Prinsip dasarnya adalah Enzim MMP-8 dapat mengurangi intensitas fluoresen dari kurkumin jika direaksikan dengan zat kurkumin tersebut. Dengan menggunakan Teknik fluoresen Optik, intensitas dan spektrum emisi fluoresen dari larutan saliva yang telah direaksikan dengan kurkumin akan dianalisis untuk menentukan adanya potensi penyakit pada seseorang. Sebagai *fluorophore* fluoresen, kurkumin akan bekerja optimal untuk cahaya eksitasi dengan panjang gelombang UV (350nm – 450nm) dan menghasilkan emisi fluoresen pada panjang gelombang hijau (500nm -550nm). Dengan demikian diharapkan intensitas emisi fluoresen yang dihasilkan dari reaksi antara MMP-8 pada saliva dengan



Gambar 2. Diagram Blok Sistem.



Gambar 3. Rancangan alat (A) dan *setup* eksperimen (B).

larutan kurkumin dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat keparahan kariesnya

## II. TINJAUAN PUSTAKA

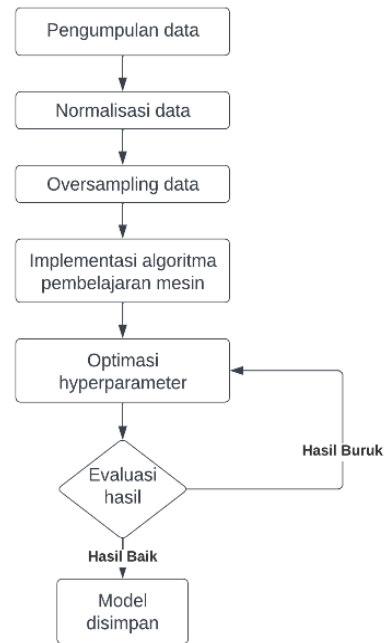
### A. Karies Gigi

Karies gigi adalah penyakit yang disebabkan oleh biofilm, dipicu oleh gula, multifaktorial dan dinamis yang mengakibatkan demineralisasi dan remineralisasi secara bertahap pada jaringan keras gigi [2]. Biofilm adalah lapisan mikroorganisme yang menempel pada permukaan gigi dan dapat menyebabkan kerusakan pada gigi jika tidak dibersihkan dengan baik. Gula dalam makanan dan minuman dapat memicu pertumbuhan bakteri dalam biofilm yang menghasilkan asam yang merusak enamel gigi. Demineralisasi terjadi ketika asam tersebut mengikis mineral pada enamel gigi, sementara remineralisasi terjadi ketika mineral tersebut digantikan kembali melalui saliva dan fluoride. Jika gigi berlubang tidak segera diobati, mereka akan menyebar dan dapat memengaruhi lapisan yang lebih dalam. Hal ini dapat menyebabkan sakit gigi parah, infeksi dan kehilangan gigi.

Salah satu klasifikasi karies gigi yang digunakan saat ini adalah Sistem Klasifikasi Karies dari *American Dental Association* (ADA) dengan pengklasifikasian penyakit karies mulai dari struktur gigi yang tidak terpengaruh / sehat (*sound*), kerusakan pada email gigi / lapisan luar gigi (*initial*), kerusakan dentin gigi (*moderate*), dan kerusakan gigi menyeluruh yang dapat mencapai pulpa (*advanced*).

### B. Saliva

Saliva adalah sekresi eksokrin yang mengandung 99% air dan berbagai elektrolit (natrium, kalium, kalsium, klorida, magnesium, bikarbonat, fosfat) serta protein yang mencakup enzim, imunoglobulin dan agen anti mikroba lainnya, glikoprotein mukosa, jejak albumin, dan beberapa polipeptida dan oligopeptida yang penting untuk kesehatan mulut [3]. Saliva (air liur) merupakan cairan biologis yang mudah diakses dan mengandung berbagai macam biomarker yang menjadikan saliva menjadi media diagnostik yang baik. Komposisi saliva pada dasarnya berasal dari darah, tetapi pada kelenjar saliva, mekanisme transpor aktif dan sekresi dapat mengubah komposisi saliva karena komponen organik



Gambar 4. Diagram alir optimasi pembelajaran mesin.

kelenjar saliva berasal dari sintesis protein dan disimpan dalam sel asinar pankreas. Keuntungan terbesar menggunakan saliva adalah pengambilan sampel dapat dilakukan secara non-invasif dengan metode yang rasional [4]. Selain itu, saliva sudah memenuhi kriteria dasar dari biomarker yang baik [5].

### C. Matriks Metalloproteinase (MMPs)

Matriks Metalloproteinase (MMP) adalah suatu enzim yang dapat mendegradasi komponen matriks ekstraseluler. Saat ini setidaknya ada puluhan enzim yang termasuk dalam keluarga MMPs, salah satunya adalah mmp-8. Secara khusus, MMP-8 aktif yang berasal dari neutrofil diketahui sebagai kolagenase utama yang dihasilkan oleh sel inang yang menyebabkan kerusakan jaringan periodontal sebagai akibat dari degradasi kolagen gingiva dan ligamen periodontal [6].

Pada sebuah literatur terkait MMP-8 dan karies gigi ditemukan bahwa secara statistika konsentrasi MMP-8 pada grup penderita karies secara signifikan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan grup yang tidak menderita karies. Penelitian ini menggunakan sampel acak dari orang dewasa dengan usia 18-35 tahun yang dikategorikan berdasarkan jumlah karies yang diderita. Pengukuran kadar MMP-8 dilakukan dengan menggunakan standar laboratorium menggunakan prinsip ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*). Korelasi antara MMP-8 dan karies gigi ditentukan dengan menggunakan metode korelasi Spearman. Kemudian menggunakan analisis regresi linear berganda untuk menemukan hubungan antara faktor-faktor risiko karies dan MMP-8 [7].

### D. Fluoresen

Secara umum, fluoresen adalah suatu fenomena di mana di mana suatu zat tertentu yang disebut dengan *fluorophore* mengabsorpsi cahaya pada satu panjang gelombang tertentu dan kemudian mememisi cahaya dengan panjang gelombang yang lebih panjang. Proses yang terjadi antara absorpsi dan emisi cahaya biasanya diilustrasikan dengan sebuah diagram



Gambar 5. Hasil akhir larutan kurkumin yang siap dipakai.

yang disebut dengan diagram Jablonski yang diilustrasikan pada Gambar 1 [8]. Diagram ini sering digunakan sebagai titik awal untuk menganalisis absorpsi dan emisi cahaya. Gambar diagram Jablonski di atas menunjukkan gambaran umum dari diagram tersebut. Singlet *Ground state*, *first state* dan *second state* masing-masing digambarkan oleh  $S_0$ ,  $S_1$ , dan  $S_2$ . Pada masing-masing state, *fluorophore* dapat berada dalam sejumlah tingkat energi vibrasi yang digambarkan dengan 0,1,2, dst. Transisi antar keadaan digambarkan sebagai garis vertikal yang mengilustrasikan sifat instan dari absorpsi cahaya [8].

#### E. Kurkumin

Kurkumin adalah senyawa polifenol hidrofobik campuran tiga *curcuminoid* yang terkandung dalam tanaman herbal kunyit. Kandungan kurkumin dapat ditemukan di beberapa tanaman herbal terutama pada tanaman *curcuma longa* (kunyit). Berbagai macam studi terkait *Bioimaging* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kurkumin dapat dijadikan probe fluoresen yang potensial. probe fluoresen berbasis kurkumin dapat secara khusus mengikat berbagai macam target. Molekul kurkumin memiliki delokalisasi elektron yang tinggi dan struktur  $\pi$ -terkonjugasi yang tinggi dengan sifat optik dan listrik yang baik. Studi menunjukkan bahwa probe fluoresen berbasis kurkumin memiliki kapasitas pengikatan yang kuat [9].

Kurkumin memiliki banyak aktivitas farmakologis seperti antioksidan, anti-infeksi, anti-inflamasi, anti-Alzheimer dan anti-kanker. Kurkumin memiliki sifat kelarutan air yang cukup rendah khususnya pada pH asam dan netral yakni hanya sekitar 1 ng/ml. Untuk itu, penting untuk mengatur pH menjadi basa saat ingin memanfaatkan kurkumin. Kurkumin memiliki kestabilan dan perilaku absorpsi, fluoresen dan degradasi yang berbeda-beda yang bergantung terhadap pelarut, suhu, pH dan faktor-faktor lainnya. Sehingga, perlakuan terhadap kurkumin perlu diperhatikan sesuai dengan kebutuhan dan preferensi masing-masing [10].

#### F. Metode Klasifikasi

Penelitian ini menggunakan beberapa algoritma pembelajaran mesin untuk dibandingkan satu sama lain. Algoritma-algoritma tersebut adalah *Artificial Neural Network (ANN)*, *K-Nearest Neighbors (KNN)*, dan *Support Vector Machine (SVM)*. *Artificial Neural Network (ANN)* pada dasarnya adalah tiruan dari jaringan saraf otak manusia.

Para ilmuwan menciptakan algoritma matematika yang bekerja menyerupai kemampuan sistem jaringan saraf tersebut. Secara umum, ANN yang terdiri dari layer *input*, beberapa *hidden layer* ( $f(x)$ ) dan layer *output* [11].

*K-Nearest Neighbors (KNN)* adalah suatu metode yang menggunakan algoritma klasifikasi dengan *supervised learning* yang sederhana namun sangat efektif. Algoritma ini merupakan jenis non parametric sehingga tidak ada asumsi awal saat menggunakannya. Ide dasar dari KNN adalah untuk menemukan K tetangga terdekat dari sebuah titik data yang ingin diprediksi. Nilai K yang digunakan akan sangat memengaruhi klasifikasi yang dapat dihasilkan, umumnya untuk menentukan nilai K dapat dilakukan dengan melihat evaluasi terhadap beberapa nilai K yang berbeda [12].

*Support Vector Machine (SVM)* adalah metode pembelajaran mesin yang biasa digunakan untuk klasifikasi dan regresi. SVM bekerja dengan mencari *hyperplane* yang memisahkan antara dua kelas data dalam ruang berdimensi lebih tinggi. *Hyperplane* tersebut dipilih berdasarkan jarak terbesar antara titik-titik data terdekat dari kedua kelas, yang disebut sebagai vektor pendukung (*support vectors*). Pada awalnya SVM dirancang khusus untuk menyelesaikan permasalahan klasifikasi biner, namun SVM telah berkembang sedemikian rupa sehingga dapat menyelesaikan permasalahan klasifikasi Multi-kelas dengan menggunakan pendekatan tertentu. Pendekatan tersebut antara lain adalah metode *one-against-all* yang akan membandingkan setiap model klasifikasi ke-i terhadap keseluruhan data selain kelasnya dan metode *one-against-one* yang akan membandingkan antar tiap pasangan kelas [13].

### III. PERANCANGAN DAN METODOLOGI

#### A. Kebutuhan Penelitian

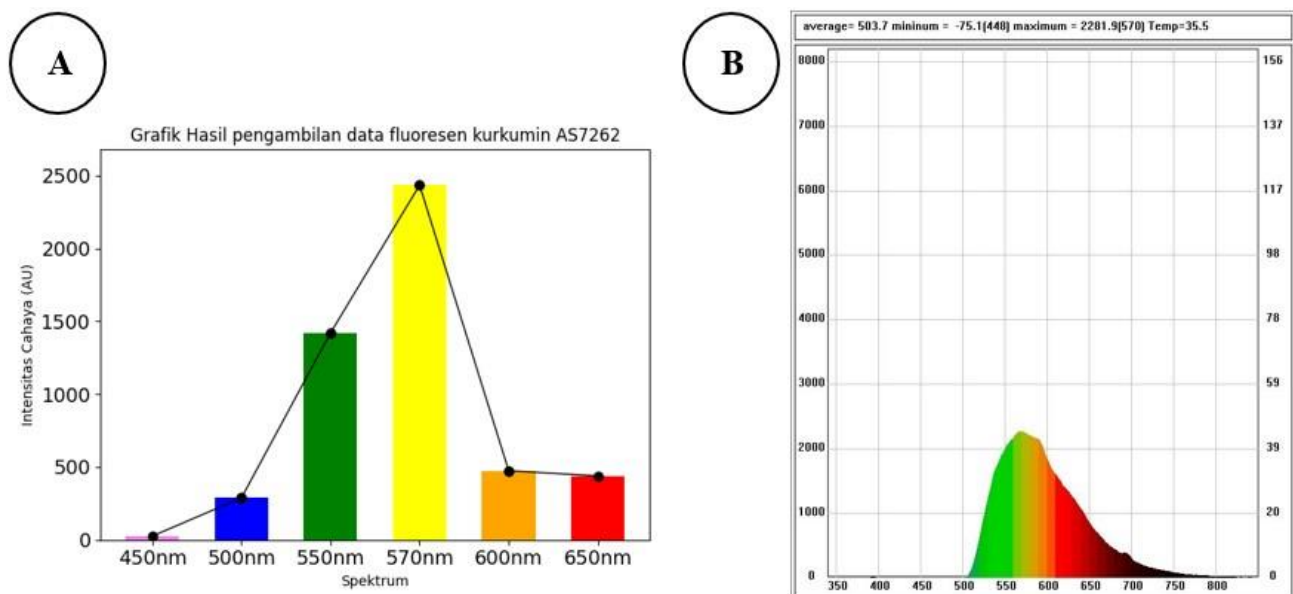
Beberapa kebutuhan alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Tabel 1.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa *library* dan *software* seperti yang tertulis pada daftar di bawah.

1. Visual Studio Code
2. Arduino IDE
3. Python
4. Scikit-Learn
5. TensorFlow dan Keras
6. Matplotlib dan Microsoft Excel
7. Library Python pendukung

#### B. Perancangan Hardware dan Software

Prototipe alat pada penelitian ini digunakan untuk eksperimen dan pengambilan data pasien. Diagram blok sistem secara umum terlihat pada Gambar 2. Prinsip dasarnya adalah sumber eksitasi LED UV dengan *range* panjang gelombang 350-400nm dipancarkan ke arah sampel saliva yang telah dicampur dengan larutan kurkumin. Kemudian, dengan menggunakan komunikasi I2C antara board Arduino Uno dan sensor AS7262, emisi fluoresen yang dihasilkan dibaca oleh sensor untuk kemudian disimpan di komputer. Sumber eksitasi UV, sampel dan sensor AS7262 diletakkan sejajar satu sama lain. LED UV dirangkai seri dengan resistor sebesar 220  $\Omega$  dan diberi sumber tegangan dari DC *power supply* sebesar 5V. Proses pengambilan data dilakukan dalam ruang gelap dan tertutup untuk menghindari pengaruh cahaya



Gambar 6. Hasil kalibrasi fluoresen kurkumin: (A) sensor AS7262, dan (B) Colorcompass.

dari luar. Hasil akhir rancangan alat dan *setup* eksperimen dapat dilihat pada Gambar 3.

Beberapa perancangan *software* dilakukan untuk membantu mempermudah melakukan eksperimen dan pengambilan data. Pertama, melakukan pemrograman board Arduino untuk berkomunikasi secara I2C dengan sensor AS7262. Selanjutnya, dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Python dan *library* pendukung, dilakukan pemrograman untuk memindahkan data dari terminal Arduino IDE ke terminal Python secara *realtime* untuk mempermudah pengolahan data. Data yang telah dipindahkan, kemudian dapat secara langsung diolah dan divisualisasi dengan menggunakan *library* Matplotlib untuk mempermudah pengamatan selama melakukan eksperimen. Setelah melakukan eksperimen dan mendapatkan kesimpulan-kesimpulan, selanjutnya akan dilakukan pengambilan data emisi fluoresen sampel pasien yang telah dilabeli oleh dokter gigi untuk kemudian disimpan secara *offline* dalam format csv untuk dilatih dengan algoritma-algoritma pembelajaran mesin. Gambar 4 menunjukkan proses pembuatan model-model pembelajaran mesin dan optimasinya berdasarkan data yang telah didapatkan sebelumnya.

### C. Persiapan Larutan Kurkumin

Untuk mempersiapkan larutan kurkumin, beberapa langkah yang dapat dilakukan adalah; pertama adalah menyiapkan 70mg bubuk kurkumin murni dengan menggunakan timbangan digital. Selanjutnya, menyiapkan 100ml alkohol 70% pada gelas beaker berukuran 100ml. Kemudian, mencampurkan 100 ml alkohol sebelumnya dengan 70mg kurkumin di gelas beaker, campuran tersebut kemudian diaduk hingga merata dengan pompa vakum kimia. Larutan kurkumin dengan konsentrasi 0.7mg/ml telah selesai dibuat. Langkah terakhir adalah menyimpan larutan tersebut di tempat tertutup pada suhu ruangan dan jauh dari paparan sinar matahari. Gambar 5 adalah hasil akhir dari larutan kurkumin yang sudah siap dipakai.

### D. Persiapan Sampel

Sebelum sampel dapat digunakan, ada beberapa langkah

yang perlu diperhatikan untuk meminimalisir variabel bebas. Pasien dipastikan telah melakukan pengecekan ke dokter gigi untuk memvalidasi tingkat keparahan karies giginya berdasarkan klasifikasi *American Dental Association* (ADA). Sebelum melakukan pengambilan data saliva, pasien juga telah menyikat gigi selama 30-60 menit sebelum kumur-kumur. Air kumur-kumur yang dipakai adalah air mineral sebanyak 20ml. Setiap pasien hanya berkumur-kumur selama 30 detik saja. Segera setelah berkumur-kumur, hasil kumur-kumur diambil sebanyak 2ml dan dipindahkan ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya, saliva hasil kumur-kumur ditetesi oleh larutan kurkumin dengan konsentrasi 0.7mg/ml sebanyak 5 tetes, 6 tetes dan 7 tetes untuk tiap-tiap sampel.

### E. Pengolahan Data

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari hasil bacaan sensor AS7262 terhadap emisi cahaya yang dihasilkan oleh sampel. Saliva yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel yang berasal dari pasien-pasien klinik dokter gigi mitra yang merupakan mahasiswa Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Seluruh Sampel saliva telah mendapatkan persetujuan dari pemiliknya masing-masing untuk digunakan dalam penelitian ini. Sampel-sampel tersebut juga sudah divalidasi klasifikasinya atau tingkat keparahannya oleh dokter gigi berdasarkan standar *American Dental Association* (ADA), sehingga penulis dapat melabeli sampel tersebut secara kualitatif.

Data hasil pembacaan sensor AS7262 berbentuk enam saluran spektrum dengan panjang gelombang 450, 500, 550, 570, 600 dan 650nm. Data-data tersebut kemudian dijadikan sebuah data set yang terdiri dari enam fitur yang merupakan seluruh spektrum yang telah disebutkan sebelumnya dan label berdasarkan klasifikasi ADA. Untuk meningkatkan performa model, data set dinormalisasi dengan persamaan *min-max scaler*.

$$I_{norm} = \frac{I - I_{minimum}}{I_{maximum} - I_{minimum}} \quad (1)$$

Dengan  $I_{norm}$  adalah nilai intensitas setelah dinormalisasi,  $I$  adalah nilai intensitas sebelum di normalisasi,  $I_{minimum}$

adalah nilai intensitas minimum, dan  $I_{maximum}$  adalah nilai intensitas maksimum. Proporsi data pada penelitian ini pada dasarnya tidak seimbang antar kelasnya. Untuk itu, penulis menggunakan teknik augmentasi data dengan melakukan *oversampling* untuk menyeimbangkan data antara kelas.

#### F. Pendekatan Klasifikasi

Data pada penelitian ini disimpan dalam bentuk file Microsoft Excel untuk diolah dan dianalisis lebih lanjut. Fitur-fitur data terdiri dari jumlah tetes kurkumin, nama pasien, hasil bacaan keenam Channel sensor AS7262, jumlah karies gigi berdasarkan klasifikasi ADA, jumlah karies gigi berdasarkan klasifikasi positif/negatif, dan jumlah karies total tanpa mempertimbangkan klasifikasi apa pun. Label data tiap barisnya terdiri dari dua jenis pendekatan yang berbeda yakni yang dilabeli berdasarkan klasifikasi ADA (data dilabeli dengan nama sesuai dengan gigi dengan level karies terparah) dan yang dilabeli dengan berdasarkan klasifikasi positif karies/ negatif karies. Data tersebut dirata-ratakan untuk setiap pasiennya. Selain itu, data dinormalisasi dengan menggunakan teknik normalisasi *min-max scaler* dengan menggunakan persamaan (1) untuk mempermudah analisis data dan mengoptimalkan pembelajaran mesin.

Data yang telah diolah dan dilabeli akan diimplementasikan ke dalam tiga algoritma pembelajaran mesin yang berbeda-beda. Algoritma-algoritma tersebut antara lain adalah *Artificial Neural Network (ANN)*, *Support Vector Machine (SVM)* dan *K-Nearest Neighbors (KNN)*. Metode *Cross Validation* digunakan sebagai tambahan untuk mengoptimalkan pembelajaran mesin dan menghasilkan model terbaik. Beberapa *hyperparameter* juga perlu diatur sebagai penyesuaian terhadap data yang ada (optimasi *hyperparameter*). Untuk melakukan tugas ini, penulis menggunakan metode *GridSearchCV* untuk membantu melakukan iterasi terhadap semua parameter yang ingin digunakan.

Data asli pada penelitian ini merupakan data yang sudah ternormalisasi dari 37 sampel pasien. Data asli pada dasarnya tidak seimbang antar kelasnya terutama pada jenis klasifikasi positif karies dan negatif karies, di mana dari keseluruhan data, proporsi data sehat hanyalah 20% dari keseluruhan data. Oleh karena itu, metode augmentasi berupa *oversampling* data akan digunakan pada data asli untuk menyeimbangkan data untuk tiap kelasnya.

## IV. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

### A. Kalibrasi Dengan Colorcompass

Pada Gambar 6 terlihat hasil bacaan fluoresen kurkumin dengan konsentrasi 0.7mg/ml oleh detektor AS7262 (A) dan colorcompass (B). Pada colorcompass terlihat bahwa puncak eksitasi berada pada panjang gelombang 570nm sama seperti yang terlihat pada sensor AS7262. Pada colorcompass juga terlihat bahwa bahu dari grafik berada pada area 530nm dan 600nm. Dari perbandingan tersebut terlihat bahwa puncak fluoresen kurkumin sudah berada pada panjang gelombang yang diharapkan berdasarkan referensi yakni 530nm – 570nm. Hasil ini juga menunjukkan bahwa sensor AS7262 memiliki kemampuan yang cukup untuk mendeteksi emisi fluoresen kurkumin.

### B. Perbandingan Model

Hasil terbaik berdasarkan nilai akurasi pada penelitian ini adalah model dengan klasifikasi biner yang menggunakan algoritma ANN kemudian disusul dengan algoritma KNN dan SVM dengan nilai akurasi validasi secara berurutan adalah 90%, 80% dan 60% yang dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan untuk model dengan klasifikasi ADA mendapatkan hasil yang cukup buruk, di mana nilai akurasi untuk model ANN, KNN dan SVM berada di bawah 50%. Hal tersebut sangatlah wajar, mengingat teknik *labeling* yang digunakan adalah gigi dengan karies terparah tanpa memperhitungkan gigi lainnya. Selain Metrik akurasi, penelitian ini juga memperhitungkan metrik *recall* (sensitivitas) terutama untuk kelas positif karies. Hal ini perlu dilakukan untuk menemukan model dengan nilai *false negative* terkecil karena akan berbahaya jika seseorang menderita karies namun terdiagnosis sehat. Model dengan nilai sensitivitas terbaik adalah model ANN dengan sensitivitas terhadap kelas karies sebesar 100%. Hal ini menunjukkan bahwa model dengan algoritma ANN dengan klasifikasi biner menunjukkan performa lebih baik dalam konteks penelitian ini di mana model ini memiliki kemampuan lebih baik dalam memprediksi *true positive* pada karies daripada *false negative*.

Pada Tabel 3 terlihat perbandingan sensitivitas klasifikasi positif antara metode pada penelitian ini dan metode konvensional pada referensi lainnya. Sayangnya perbandingan yang disajikan tidak bisa perbandingan langsung karena perbedaan data dan dokter validator. Hal ini disebabkan oleh jenis klasifikasi yang digunakan berbeda-beda antar referensi. Namun, perbandingan tidak langsung ini bisa dijadikan gambaran untuk melihat hasil dari penelitian ini. Hampir seluruh metode deteksi karies konvensional yang digunakan saat ini memiliki kecenderungan bersifat subjektif karena masih memerlukan interpretasi hasil dari dokter gigi pemeriksa. Sebagai contoh, metode *visual tactile* (melihat dan meraba) dilakukan langsung oleh dokter gigi sehingga dapat bersifat sangat subjektif tergantung dengan pemeriksanya. Selain itu, metode lain seperti *DIAGNOdent* dan *bitewing radiograph* juga masih memerlukan interpretasi hasil dari tenaga ahli.

Selain validasi menggunakan *cross validation*, penulis juga melakukan uji Sistem Inferensi untuk model-model klasifikasi biner menggunakan algoritma ANN, KNN, dan SVM seperti yang terlihat pada Tabel 4. Pengujian dilakukan dengan data baru yang tidak ada kaitan dengan proses pembelajaran. Dari lima pasien, model ANN berhasil memprediksi benar sebanyak empat kali, model KNN berhasil memprediksi benar sebanyak tiga kali, dan model SVM berhasil memprediksi benar sebanyak dua kali. Secara umum, dapat dikatakan hasil dari penelitian ini cukup baik dari segi akurasi dan sensitivitas terhadap kelas positif karies, namun metode ini masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih baik lagi seperti menambah data, mencoba pendekatan pengklasifikasian yang berbeda, mencoba pendekatan pengukuran kandungan MMP-8, dan mengontrol lebih banyak variabel yang memungkinkan untuk dikontrol.

Tabel 2.  
Perbandingan akurasi klasifikasi biner.

Algoritma	K-Fold	Hyperparameter	Nilai terbaik	Akurasi
KNN	5	n_neighbors	5	80%
		weight metric	distance euclidean	
		Epochs	1000	
ANN	5	Batch_size	4	90%
		Learning_rate	1E-7	
		Dropout	0.1	
SVM	5	C (Regularisasi)	1.01	60%
		gamma	Scale	
		kernel	rbf	

Tabel 3.  
Perbandingan sensitivitas dengan metode konvensional.

Metode	Klasifikasi	Sensitivitas
Bitewing Radiograph	Positif Interproksimal	50%
	Positif Oklusal	70%
Laser DIAGNOdent	Positif	97%
Penelitian Ini	Positif	100%

Tabel 4.  
Hasil uji sistem inferensi.

Nama Pasien	Kondisi Asli	Hasil Uji		
		ANN	KNN	SVM
Pasien 1	Sehat	Sehat	Sehat	Sehat
Pasien 2	Karies	Sehat	Sehat	Sehat
Pasien 3	Sehat	Sehat	Sehat	Sehat
Pasien 4	Karies	Karies	Sehat	Sehat
Pasien 5	Karies	Karies	Karies	Sehat

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dirancang *hardware*, *software*, dan larutan kurkumin untuk melakukan eksperimen dan mengklasifikasikan karies berdasarkan emisi fluoresen kurkumin yang bereaksi dengan MMP-8 dalam mendeteksi karies gigi berdasarkan kandungan MMP-8 pada saliva manusia. Berdasarkan studi literatur, MMP-8 yang merupakan enzim banyak ditemukan seiring bertambah parahnya karies gigi menjadi dasar dalam melakukan penelitian ini. Selain itu, sifat-sifat kurkumin seperti anti-inflamasi, absorpsi, emisi dan degradasinya penting untuk diketahui dalam melakukan penelitian ini.

Setelah melakukan berbagai macam eksperimen, pengambilan data dilakukan pada sampel yang sudah divalidasi tingkat keparahan karies giginya. Data-data tersebut kemudian diolah dan diimplementasikan pada beberapa algoritma pembelajaran mesin seperti ANN, SVM, dan KNN untuk mengklasifikasikan karies gigi berdasarkan standar klasifikasi biner dan ADA. Beberapa kesimpulan yang berhasil didapatkan pada penelitian ini antara lain adalah: (1) Model dengan akurasi terbaik adalah model yang menggunakan algoritma ANN menggunakan klasifikasi positif/negatif dengan akurasi sebesar 90%. (2) Model dengan akurasi terbaik memiliki sensitivitas yang cukup baik

untuk kelas positif karies jika dibandingkan dengan metode konvensional lainnya. (3) Model terbaik secara keseluruhan adalah model dengan algoritma ANN disusul oleh KNN kemudian SVM. (4) Metode ini bisa dibandingkan dengan metode konvensional dengan menggunakan jenis klasifikasi positif/negatif, namun sulit untuk dibandingkan jika menggunakan klasifikasi ADA.

### B. Saran

Penelitian masih perlu diteliti lebih lanjut dengan menambah data sebanyak mungkin (berdasarkan klasifikasi ADA) kemudian membandingkannya dengan menghitung kandungan MMP-8 pada tiap sampel dengan menggunakan teknik ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*). Beberapa batasan masalah seperti pengaruh pH mulut dan penggunaan lensa dichroic perlu diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan hasil maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Imak, A. Celebi, K. Siddique, M. Turkoglu, A. Sengur, and I. Salam, "Dental Caries Detection Using Score-Based Multi-Input Deep Convolutional Neural Network," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 18320–18329, 2022.
- [2] N. B. Pitts *et al.*, "Dental caries," *Nat. Rev. Dis. Prim.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, 2017.
- [3] P. D. V. de Almeida, A. M. Greggio, M. A. Machado, A. A. De Lima, L. R. Azevedo, and others, "Saliva composition and functions: a comprehensive review," *J contemp dent Pr.*, vol. 9, no. 3, pp. 72–80, 2008.
- [4] N. Rathnayake, D.-R. Gieselmann, A. M. Heikkinen, T. Tervahartiala, and T. Sorsa, "Salivary diagnostics—point-of-care diagnostics of MMP-8 in dentistry and medicine," *Diagnostics*, vol. 7, no. 1, p. 7, 2017.
- [5] J. Liu and Y. Duan, "Saliva: a potential media for disease diagnostics and monitoring," *Oral Oncol.*, vol. 48, no. 7, pp. 569–577, 2012.
- [6] V. Checchi *et al.*, "The role of matrix metalloproteinases in periodontal disease," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 14, p. 4923, 2020.
- [7] A. Ashwini *et al.*, "Dentin degradation--The potential role of salivary MMP-8 in dentin caries," *J. Clin. Exp. Dent.*, vol. 12, no. 2, p. e108, 2020.
- [8] J. R. Lakowicz, *Principles of Fluorescence Spectroscopy*. New York: Springer, 2006, ISBN : 0-8493-4188-4.
- [9] F. A. Curylofo-Zotti *et al.*, "Differential effects of natural Curcumin and chemically modified curcumin on inflammation and bone resorption in model of experimental periodontitis," *Arch. Oral Biol.*, vol. 91, pp. 42–50, 2018.
- [10] O. Naksuriya, M. J. van Steenberg, J. S. Torano, S. Okonogi, and W. E. Hennink, "A kinetic degradation study of curcumin in its free form and loaded in polymeric micelles," *AAPS J.*, vol. 18, pp. 777–787, 2016.
- [11] O. A. Montesinos López, A. Montesinos López, and J. Crossa, "Fundamentals of Artificial Neural Networks and Deep Learning," in *Multivariate statistical machine learning methods for genomic prediction*, New York: Springer, 2022, pp. 379–425.
- [12] K. Taunk, S. De, S. Verma, and A. Swetapadma, "A Brief Review of Nearest Neighbor Algorithm for Learning and Classification," in *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, 2019, pp. 1255–1260.
- [13] S. Ghosh, A. Dasgupta, and A. Swetapadma, "A Study on Support Vector Machine Based Linear and Non-Linear Pattern Classification," in *2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, 2019, pp. 24–28.