BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Indikator pH

Indikator pH merupakan alat ukur mengukur tingkat keasaman atau kebasaan (pH) suatu larutan yang digunakan dalam berbagai analisis standar. Indikator ini dapat berupa senyawa sintetis atau alami yang menunjukkan perubahan warna spesifik akibat reaksi kimia dengan asam atau basa, yang dipengaruhi oleh resonansi isomer elektron dalam molekul indikator. Setiap indikator memiliki tetapan ionisasi unik yang menentukan rentang perubahan warnanya (Khopkar, 2014). Penggunaan indikator pH cukup sederhana dengan meneteskan atau mencelupkan indikator ke dalam sampel uji. Jenis-jenis indikator pH meliputi kertas lakmus, indikator universal, reagen sintetis, indikator alami, pH meter digital untuk hasil lebih presisi. Dengan berbagai jenis dan metode aplikasinya, indikator pH menjadi alat penting dalam bidang kimia, biologi, dan ilmu pengetahuan untuk memastikan kontrol kualitas dan keamanan produk (Waty dan Hasby, 2020).

2.1.1 Kertas Lakmus

Kertas lakmus merupakan alat sederhana untuk mengidentifikasi asam, basa, atau netral pada suatu larutan. Kertas lakmus terdiri dari dua jenis, yaitu lakmus biru yang berubah merah dalam larutan asam dan lakmus merah yang berubah biru dalam larutan basa. Jika larutan bersifat netral, maka tidak ada perubahan warna pada kertas lakmus. Kelebihan kertas lakmus adalah mudah digunakan tanpa alat tambahan, sehingga cocok untuk digunakan dalam pengujian sederhana. Namun terdapat kelemahan di mana tidak mampu menentukan nilai pH secara spesifik, sehingga sering digunakan sebagai langkah awal sebelum metode yang lebih presisi seperti pH meter atau pH universal. Dengan demikian, kertas lakmus tetap relevan dalam pengujian asam basa karena sifatnya yang praktis dan mudah dipahami (Siregar *et al*., 2022).

2.1.2 Indikator pH Universal

Indikator pH universal merupakan salah satu metode sederhana untuk menganalisis asam, basa, atau netral suatu larutan dalam rentang pH 1 hingga pH 14. Prinsip kerja yang serupa dengan kertas lakmus, namun memiliki keunggulan berupa kemampuan menentukan nilai pH secara lebih spesifik. Penggunaan indikator pH universal melibatkan pencelupan indikator pH universal ke dalam larutan uji, yang kemudian menunjukkan perubahan warna sesuai dengan tingkat keasaman atau kebasaan larutan. Warna yang dihasilkan dibandingkan dengan trayek warna pada skala indikator pH universal untuk menentukan nilai pH larutan. Indikator pH universal umumnya terdiri dari bahan sintetis, seperti *tropeolin OO*, *methyl orange*, *methyl red*, *bromothymol blue*, *naphtholphthalein*, *cresolphthalein*, *phenolphthalein*, dan *alizarine yellow R* (Foster dan Gruntfest, 1937). Meskipun akurat, bahan-bahan sintetis tersebut memiliki kelemahan berupa sifat toksik, potensi polusi, ketersediaan bahan, serta biaya yang relatif mahal (Tangio *et al*., 2023).

Kelebihan utama indikator pH universal adalah kemampuannya memberikan analisis yang lebih detail dibandingkan kertas lakmus dengan setiap warna mewakili angka pH tertentu. Dengan sifatnya yang praktis dan hasil yang mudah diinterpretasikan menjadikan indikator ini pilihan ideal untuk pengujian cepat. Namun, indikator pH universal memiliki keterbatasan akurasi dibandingkan pH meter, sehingga lebih cocok digunakan untuk analisis sederhana yang tidak memerlukan presisi tinggi (Wardani dan Arifiyana, 2020).

2.1.3 Indikator Sintetis dan Alami

Indikator sintetis adalah reagen buatan yang mengandung senyawa kimia tertentu yang mampu menunjukkan perubahan warna saat bereaksi dengan larutan asam, netral, atau basa. Perubahan warna ini terjadi akibat reaksi kimia antara senyawa indikator dengan ion-ion dalam larutan, sehingga membantu mengidentifikasi tingkat keasaman atau kebasaan. Contoh indikator sintetis yang umum digunakan adalah indikator *phenolphthalein* (PP), *methyl red* (metil merah), dan *methyl orange* (metil oranye). Masing-masing indikator ini memiliki karakteristik unik dalam menunjukkan perubahan warna. Misalnya, indikator *phenolphthalein* (PP) berubah menjadi merah muda dalam larutan basa dan tidak

berwarna dalam larutan asam. Sementara metil merah dan metil oranye menghasilkan warna merah dalam larutan asam dan kuning dalam larutan basa. Indikator sintetis umum digunakan dalam analisis kimia, terutama pada titrasi untuk menentukan titik ekivalen reaksi antara asam-basa. Pemilihan indikator sintetis harus disesuaikan dengan rentang pH larutan yang akan diuji, karena setiap indikator memiliki trayek pH yang spesifik. Indikator sintetis memiliki keunggulan seperti sensitivitas tinggi terhadap perubahan pH, sehingga berperan penting dalam analisis di berbagai bidang ilmiah (Ayun *et al*., 2022).

Indikator alami merupakan larutan dari ekstrak bahan-bahan alami yang kaya pigmen warna, seperti antosianin, kurkumin, atau brazilin, yang mampu mendeteksi sifat asam, basa, atau netral melalui perubahan warna. Proses pembuatan indikator alami umumnya melibatkan tahap ekstraksi menggunakan pelarut yang tidak memengaruhi sifat kimia larutan uji, sehingga indikator tetap mampu menunjukkan perubahan warna yang akurat sesuai dengan sifat larutan yang diuji (Ayun *et al*., 2022). Dibandingkan indikator sintetis, indikator alami memiliki keunggulan berupa sifat yang ramah lingkungan dan berpotensi sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan.

Berbagai jenis tanaman telah dimanfaatkan sebagai sumber pigmen warna indikator alami, seperti bunga telang, bunga rosella, kulit buah naga, kulit manggis, kulit bawang merah, ubi jalar ungu, kayu secang, kunyit, dan lain sebagainya. Bahan-bahan tersebut dipilih karena mengandung pigmen aktif seperti antosianin, brazilin, dan kurkumin yang sangat sensitif terhadap perubahan pH. Sebagai contoh, ekstrak kunyit menghasilkan warna kuning dalam larutan netral yang berubah menjadi merah kecoklatan dalam larutan basa. Kemampuan pigmen alami dalam memberikan perubahan warna yang jelas menjadikannya cocok untuk digunakan sebagai indikator alami (Ayun *et al*., 2022).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pemanfaatan ekstrak bahan alam sebagai indikator tidak hanya terbatas dalam bentuk larutan, tetapi telah dikembangan dengan cara mengimobilisasi pigmen tersebut ke dalam media padat seperti kertas bioselulosa dan membran bioselulosa. Inovasi ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan, kemudahan

penggunaan, serta memperluas aplikasi indikator alami dalam bentuk *strip test* yang praktis, efektif, dan tetap ramah lingkungan.

2.2 Bunga Telang

Bunga telang (*Clitoria ternatea* L.) merupakan salah satu tanaman herbal yang terkena dengan kandungan antioksidan yang tinggi. Tanaman ini memiliki ciri khas warna ungu pada kelopaknya, meskipun dalam beberapa varietasnya juga ditemukan dengan warna biru dan merah. Salah satu kandungan utama pada bunga telang adalah antosianin sebagai pigmen alami yang bertanggung jawab atas warna ungu, biru, atau merah pada bunganya. Warna cerah yang dihasilkan antosianin menjadikan bunga telang sering dimanfaatkan sebagai pewarna alami untuk makanan dan minuman (Mukherjee *et al*., 2008).



Gambar 2. 1 Bunga telang (Dokumentasi Pribadi)

Antosianin pada bunga telang memiliki kestabilan yang tinggi, sehingga sangat ideal untuk digunakan sebagai pewarna alami yang tahan lama, baik dalam industri makanan, kimia, maupun kosmetik (Angraini, 2019). Senyawa ini bersifat polar dan larut dalam pelarut polar seperti aquadest dan asam tartrat. Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh antosianin dari bunga telang adalah melalui proses ekstraksi, yang memungkinkan kandungan antosianin terekstrak secara maksimal (Mukhriani, 2014).

Senyawa aktif utama dari bunga telang adalah antosianin jenis ternatin, yaitu turunan poliakilasi dari delphinidin-3,3’,5-triglukosida. Antosianin ini menunjukkan perubahan warna yang sangat jelas bergantung pada pH lingkungan. Pada pH kurang dari 3,2, warna larutan berubah menjadi merah, kemudian pada pH 3,2-5,2 warnanya ungu ke biru, pada pH 5,2-8,2 menjadi biru muda, dan pada pH 8,2-10,2 berubah menjadi hijau. Perubahan ini disebabkan oleh perubahan struktur kimia antosianin dari bentuk flavylium (merah) menjadi bentuk

kuinonoid netral (biru) dan kemudian bentuk *chalcone* ionik (hijau). Keunggulan dari antosianin bunga telang dibandingkan antosianin lain adalah adanya gugus asil yang memperkuat struktur dan warna biru sehingga lebih tahan terhadap perubahan pH. Stabilitas ini menjadikan antosianin bunga telang sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai indikator alami (Gamage *et al*., 2021).

Dengan adanya kandungan antosianin, ekstrak bunga telang telah banyak digunakan sebagai indikator asam basa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Ariwidiani *et al*. (2015), ekstrak bunga telang dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media kertas. Kertas Whatman yang diimobilisasi dalam ekstrak bunga telang menunjukkan perubahan warna ketika bereaksi dengan larutan tertentu. Pada larutan asam, warnanya berubah dari biru menjadi merah muda hingga ungu. Sebaliknya, pada larutan basa, warnanya berubah dari biru menjadi hijau hingga hijau lumut.

2.3 Bunga Rosella

Rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) merupakan tanaman dari keluarga Malvaceae yang banyak tumbuh di wilayah tropis. Tanaman ini banyak mengandung berbagai zat aktif, salah satunya adalah antosianin, yang memiliki sifat sebagai antioksidan alami dengan aktivitas antiradikal bebas. Kelopak bunga rosella mengandung berbagai senyawa bermanfaat, termasuk total phenol, antosianin, dan vitamin C yang berkontribusi pada khasiat kesehatan (Maksum dan Purbowati, 2017).



Gambar 2. 2 Bunga rosella (Maryani dan Kristiana, 2005)

Senyawa aktif utama dalam bunga rosella adalah antosianin, khususnya sianidin-3-glukosida. Senyawa ini termasuk dalam golongan flavonoid yang

memiliki struktur flavylium dan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Ketika berada dalam larutan asam (pH < 4), sianidin-3-glukosida berada dalam bentuk flavylium kation, yang stabil dan berwarna merah. Pada pH 4-6, terjadi pergeseran struktur ke bentuk karbinol basa dan anhidrobase menghasilkan warna kehijauan. Sementara itu, pada pH > 6 senyawa ini berubah menjadi kuinoid dan *chalcone* yang menyebabkan warna berubah menjadi biru hingga ungu, tergantung pada intensitas dan konsentrasi ion hidroksil di lingkungan sekitarnya (Nuryanti *et al*., 2019).

Berdasarkan penelitian Kusumah (2016), ekstrak bunga rosella dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media kertas. Ketika kertas saring diimobilisasi dalam ekstrak bunga rosella direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah menjadi merah muda. Sebaliknya, jika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi hijau muda hingga hijau kumala.

2.4 Kulit Buah Naga

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) merupakan buah eksotis dengan kulit berwarna merah dan daging yang tebal. Terdapat beberapa varietas buah naga, diantaranya buah naga berdaging merah, buah naga berdaging putih, dan buah naga berkulit kuning dengan daging putih. Kulit buah naga memiliki potensi besar sebagai sumber pewarna alami karena kandungan senyawa aktif yang tinggi (Citramukti, 2008).



Gambar 2. 3 Buah naga (Kristanto, 2014)

Kulit buah naga berdaging merah mengandung jenis antosianin berupa sianidin-3-ramnosil glukosida 5-glukosida (Saati, 2002). Menurut penelitian Handayani dan Rahmawati (2012), kulit buah naga berdaging merah memiliki

kadar antosianin yang lebih tinggi dibandingkan kulit buah naga berdaging putih. Perbedaan ini disebabkan oleh pigmen antosianin yang lebih pekat pada kulit buah naga berdaging merah, sehingga menghasilkan warna yang lebih cerah.

Berdasarkan penelitian Yulfriansyah dan Novitriani (2016), ekstrak kulit buah naga merah dapat digunakan sebagai indikator asam basa. Ketika direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah menjadi merah muda. Sebaliknya, ketika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi merah muda hingga kuning pada pH yang tinggi. Dalam kondisi asam, antosianin memiliki struktur kation flavylium memberikan warna merah. Kation ini bersifat reaktif dan mudah mengalami degradasi seiring meningkatnya pH, membentuk karbinolbase tidak berwarna. Selanjutnya, senyawa ini mengalami kesetimbangan toutomeri dan berubah menjadi bentuk kalkon. Pada pH di atas 6, struktur antosianin mengalami perubahan menjadi anhidrobase, yang dapat menghasilkan perubahan berwarna dengan intensitas lebih kuat dan menghasilkan warna kuning.

2.5 Kulit Manggis

Buah manggis (*Garcinia mangostana* L.) dikenal sebagai salah satu buah dengan kadar antioksidan tertinggi yang memiliki ciri khas kulit berwarna merah hingga merah keunguan. Kulit buah manggis mengandung kaya akan senyawa bioaktif, seperti *xanthone* yang memiliki aktivitas antioksidan (Soedibyo, 2008). Selain sifat antioksidannya, kulit manggis juga merupakan bahan baku yang potensial untuk pewarna alami.



Gambar 2. 4 Kulit manggis (Mardiana, 2013)

Kulit manggis mengandung dua kelompok senyawa aktif utama, yaitu *xanthone* dan antosianin, yang keduanya menunjukkan perubahan karakteristik tergantung pada pH lingkungan. *Xanthone* terutama α-mangostin dengan jumlah paling tinggi merupakan senyawa aromatik trisiklik yang relatif stabil terhadap perubahan pH. *Xanthone* berperan dalam menstabilkan pH serta menunjukkan

adanya potensi sensitivitas terhadap perubahan pH, meskipun senyawa *xanthone* tidak memberikan perubahan warna yang mencolok seperti antosianin. Kestabilitas kimia dan struktur *xanthone* ini menjadikannya cocok sebagai indikator pendamping atau penguat kestabilan warna dalam *strip test* indikator asam basa (Laudza *et al*., 2025). Sebaliknya, kelompok senyawa antosianin dalam kulit manggis, seperti *cyanidin-3-sophoroside* sangat sensitif terhadap perubahan pH. Pada pH rendah (1-3), antosianin berada dalam bentuk flavylium kation yang stabil dan berwarna merah cerah. Namun, pada pH di atas 4-5, struktur antosianin mulai berubah menjadi bentuk karbinol basa, kuinon, atau *chalcone* yang tidak stabil dan tidak berwarna, sehingga menyebabkan degradasi serta hilangnya warna. Oleh karena itu, *xanthone* lebih cocok digunakan sebagai indikator untuk larutan netral hingga basa, sedangkan antosianin efektif pada pH asam, meskipun penggunaannya perlu dibatasi karena ketidakstabilan dalam kondisi basa atau suhu tinggi (Li *et al*., 2023). Kombinasi kedua senyawa tersebut memungkinkan pengembangan strip indikator asam basa berbasis bahan alam.

Berdasarkan penelitian Ernawati (2017), ekstrak kulit manggis dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media kertas. Kertas saring yang diimobilisasi dalam ekstrak kulit manggis menunjukkan perubahan warna ketika direaksikan dengan larutan tertentu. Ketika direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah menjadi merah *peach* hingga merah muda. Sebaliknya, ketika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi hijau lumut hingga hijau pupus. Perubahan warna ini diperkuat oleh kandungan antosianin dan *xanthone* dalam kulit manggis, yang masing-masing memberikan kontribusi warna spesifik berdasarkan kondisi pH.

2.6 Kulit Bawang Merah

Bawang merah (*Allium cepa* L.) secara umum digunakan sebagai bumbu masakan dan obat tradisional karena adanya kandungan senyawa bioaktif (Octaviani *et al*., 2019). Selain umbi bawang merah yang banyak dimanfaatkan, terdapat kulit bawang merah yang juga kaya akan metabolit sekunder, seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, saponin, polifenol, dan kuersetin (Rahayu *et al*., 2015).



Gambar 2. 5 Kulit bawang merah (Dokumentasi Pribadi)

Senyawa aktif utama dalam kulit bawang merah adalah kuersetin yang merupakan salah satu flavonoid dengan aktivitas biologis tinggi, antara lain sebagai antioksidan dan modulator kanal ion. Kuersetin menunjukkan aktivitas yang sangat dipengaruhi oleh pH, baik dari segi struktur kimianya maupun efek biologisnya. Dalam konteks penggunaannya sebagai senyawa aktif dalam sistem indikator pH alami, kuersetin mengalami perubahan struktur dan aktivitas biologisnya tergantung pada nilai pH lingkungannya. Pada pH rendah (sekitar pH 6), kuersetin memiliki efek penghambatan yang kuat terhadap kanal ion Slo3, dengan efisiensi penghambatan mencapai sekitar 67% yang secara tidak langsung menunjukkan adanya interaksi kimia yang aktif antara gugus fenolik dengan pH medium. Namun, ketika pH meningkat menjadi netral hingga basa (pH 7,3–9), efek penghambatan menurun secara signifikan, yang menunjukkan bahwa struktur kuersetin menjadi lebih stabil tetapi kurang reaktif terhadap target biologisnya. Fenomena ini terkait dengan deprotonasi gugus hidroksil pada cincin flavonoid kuersetin, yang menyebabkan perubahan warna larutan kuersetin dari kuning pucat menjadi jingga terang saat pH meningkat. Oleh karena itu, perubahan warna kuersetin karena pH dapat digunakan sebagai indikator visual pada strip uji asam basa. Karakteristik ini membuat ekstrak kulit bawang, terutama kandungan kuersetinnya, sangat cocok untuk digunakan sebagai indikator pH untuk rentang asam hingga netral (pH 5–7), dengan perubahan warna yang dapat diamati dengan mata telanjang. Untuk aplikasi sebagai strip indikator berbasis bahan alami, kuersetin dari kulit bawang dapat diimobilisasi pada kertas atau media biopolimer, menghasilkan sistem sensor pH yang tidak hanya fungsional tetapi juga ramah lingkungan.

Berdasarkan penelitian Kasnati *et al*. (2020), ekstrak kulit bawang merah dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media kertas. Kertas saring yang diimobilisasi dalam ekstrak kulit bawang merah menunjukkan perubahan warna ketika direaksikan dengan larutan tertentu. Ketika direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah dari kuning menjadi merah muda. Sebaliknya, ketika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi jingga kekuningan.

2.7 Ubi Jalar Ungu

Ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L.) adalah salah satu jenis tanaman umbi-umbian yang tumbuh subur di Indonesia dan dikenal dengan variasinya, seperti ubi jalar putih dan ubi jalar kuning. Ubi jalar ungu juga mengandung berbagai senyawa bioaktif, termasuk flavonoid, fenol, alkaloid, antosianin, tanin, saponin, dan terpenoid dalam hasil skrining fitokimia ekstrak etanol ubi jalar ungu (Veronika *et al*., 2015).



Gambar 2. 6 Ubi jalar ungu (Purwono dan Purnamawati, 2007)

Pigmen berwarna ungu pada ubi jalar ungu berasal dari antosianin merupakan sebuah senyawa hidrofilik golongan flavonoid yang memberikan warna biru, ungu, dan merah pada tanaman tersebut. Variasi konsentrasi antosianin di dalam ubi jalar ungu menyebabkan perbedaan gradasi warna ungu dan menjadikan sumber pewarna alami (Hardoko *et al*., 2010). Ubi jalar ungu memiliki kadar antosianin yang paling tinggi di antara jenis ubi jalar lainnya (Suprapta *et al*., 2004).

Antosianin memiliki sifat sensitif terhadap perubahan pH. Dalam larutan dengan pH 1-2 (sangat asam), antosianin berada dalam bentuk flavylium kation dan menghasilkan warna merah, yang merupakan bentuk paling stabil dalam kondisi tersebut. Ketika pH meningkat menjadi pH 3-6 (asam lemah), flavylium

mengalami hidrasi menjadi bentuk karbinol basa sehingga menghasilkan warna merah muda. Pada pH 7 (netral), antosianin berubah menjadi bentuk basa kuinonoid yang tampak sebagai warna ungu. Ketika pH meningkat menjadi pH 8-9, basa quinoidal terionisasi dan berubah warna menjadi biru dan pH 10-11 berubah warna menjadi hijau. Pada pH 12-14 (sangat basa), antosianin berubah ke bentuk *chalcone* yang ditandai dengan warna kuning (Leba *et al*., 2022). Oleh karena itu, antosianin dari ubi jalar ungu sangat cocok digunakan sebagai salah satu senyawa aktif dalam imobilisasi *strip test* indikator asam basa.

Berdasarkan penelitian Afandy *et al*. (2017), ekstrak ubi jalar ungu dapat digunakan sebagai indikator asam basa. Ekstrak ubi jalar ungu menunjukkan perubahan warna ketika direaksikan dengan larutan tertentu. Ketika direaksikan dengan larutan asam akan menghasilkan perubahan warna menjadi merah muda, sedangkan ketika direaksikan dengan larutan basa akan menghasilkan perubahan warna menjadi hijau.

2.8 Kayu secang

Kayu secang (*Caesalpinia sappan* L.) merupakan tumbuhan yang kaya akan senyawa flavonoid terutama brazilin, yang memiliki manfaat sebagai pewarna alami untuk makanan, minuman, dan tekstil yang menggantikan pewarna sintetis seperti Rhodamin B yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan. Kayu secang mengandung senyawa antara lain flavonoid, tannin, dan *quinone* yang memiliki aktivitas biologis (Yuniati *et al*., 2023).



Gambar 2. 7 Kayu secang (Mun'im dan Ahmad, 2023)

Senyawa aktif utama dalam kayu secang adalah brazilin, yaitu pigmen fenolik yang dapat teroksidasi menjadi brazilein, senyawa berwarna merah yang sangat sensitif terhadap perubahan pH (Astina, 2010). Perubahan warna tersebut menjadikan kayu secang berpotensi untuk digunakan sebagai indikator pH

berbasis bahan alam. Ekstrak kayu secang menunjukkan warna kuning hingga jingga kemerahan pada pH 2-6 (kondisi asam), warna merah cerah pada pH 7 (netral), dan berubah menjadi merah keunguan atau ungu tua pada pH 9-10 (basa). Pergeseran warna ini terjadi karena adanya perubahan struktur ionik brazilein seiring deprotonasi gugus fenolik dalam suasana basa (Yuniati *et al*., 2023).

Berdasarkan penelitian Saraswati (2016), ekstrak kayu secang dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media kertas. Kertas saring yang diimobilisasi dalam ekstrak kayu secang menunjukkan perubahan warna ketika direaksikan dengan larutan tertentu. Ketika direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah menjadi merah hingga jingga. Sebaliknya, ketika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi merah keunguan hingga ungu.

2.9 Kunyit

Kunyit merupakan tanaman herba yang bagian rimpangnya sering dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Kunyit memiliki aroma khas dan rasa pahit. Rimpang kunyit mengandung berbagai senyawa kimia aktif yang bermanfaat. Kandungan utama adalah kurkumin (feruloil metana), pigmen kuning yang memberikan warna khas pada kunyit, sehingga kunyit banyak dimanfaatkan sebagai pewarna alami dalam makanan, minuman, dan industri kosmetik, untuk menggantikan pewarna sintetis (Kemenkes RI, 2011).



Gambar 2. 8 Rimpang kunyit (Mulyanti, 2022)

Rimpang kunyit memiliki kemampuan dalam bereaksi dengan asam basa dari suatu larutan, sehingga dapat digunakan sebagai indikator asam basa. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan kurkumin yang sangat sensitif terhadap perubahan pH. Kurkumin memberikan reaksi warna yang berbeda ketika berinteraksi dengan larutan asam atau basa, sehingga berperan sebagai indikator alami yang efektif (Prihatini *et al*., 2024).

Kurkumin, senyawa aktif utama dalam kunyit (Curcuma longa), memiliki potensi sebagai indikator alami pH karena kemampuannya mengalami perubahan struktur kimia dan warna yang signifikan dalam berbagai kondisi pH. Secara struktural, kurkumin ($C_{21}H_{20}O_6$) terdiri atas dua cincin aromatik yang mengandung gugus fenol o-metoksi dan satu gugus β-diketon tak jenuh α,β. Dalam larutan berair, kurkumin mengalami tautomerisme antara bentuk keto dan enol, dengan bentuk dominan yang bergantung pada pH. Pada kondisi asam hingga netral (pH 2–7), semua gugus hidroksil terprotonasi dan kurkumin berada dalam bentuk keto, yang berwarna kuning keemasan. Dalam rentang pH ini, kurkumin menunjukkan stabilitas kimia yang tinggi, menjadikannya sangat sesuai untuk digunakan sebagai senyawa aktif dalam imobilisasi *strip test* indikator asam-basa. Namun, pada pH 7 hingga 8,5, terjadi deprotonasi progresif pada gugus enol, menyebabkan perubahan warna menjadi jingga kecokelatan dan beralihnya struktur ke bentuk enol, yang secara kimia lebih labil dibandingkan bentuk keto. Di rentang ini, kurkumin mulai menunjukkan ketidakstabilan karena reaktivitasnya terhadap cahaya dan autooksidasi, sehingga penggunaannya sebagai indikator masih memungkinkan tetapi perlu ditunjang dengan sistem stabilisasi seperti enkapsulasi. Ketika pH meningkat lebih dari 8,5, dua gugus hidroksil fenolik lainnya mengalami deprotonasi, dan kurkumin berada dalam bentuk enolat yang sangat reaktif dan tidak stabil. Pada pH basa kuat ini, kurkumin mengalami degradasi kimia cepat, terutama melalui pembelahan gugus β-diketon yang menghasilkan senyawa lain seperti asam ferulat, feruloilmetana, dan vanilin, disertai perubahan warna menjadi kemerahan yang kemudian memudar. Bahkan, dalam larutan penyangga fosfat netral hingga basa, sekitar 90% kurkumin dapat terdegradasi hanya dalam waktu 15 menit. Oleh karena itu, meskipun kurkumin menunjukkan perubahan warna yang khas di berbagai pH, penggunaannya dalam *strip test* indikator asam-basa lebih dioptimalkan untuk mendeteksi kondisi asam hingga netral, sedangkan untuk rentang basa perlu dipertimbangkan penggunaan pelindung kimia atau dikombinasikan dengan senyawa lain yang lebih stabil di kondisi basa, seperti antosianin atau brazilin (Zheng dan McClements, 2020).

Berdasarkan penelitian Leba *et al*. (2022), ekstrak kunyit dapat digunakan sebagai indikator asam basa dengan media saring. Kertas saring yang diimobilisasi dalam ekstrak kunyit menunjukkan perubahan warna ketika direaksikan dengan larutan tertentu. Ketika direaksikan dengan larutan asam, warnanya berubah menjadi kuning muda. Sebaliknya, ketika direaksikan dengan larutan basa, warnanya berubah menjadi kuning oranye hingga merah bata. Kemampuan kunyit sebagai indikator pH dengan sensitivitasnya terhadap perubahan pH menjadikan alternatif indikator sintetis sebagai bahan penting dalam pengembangan teknologi analitik berbasis bahan alam (Sundari, 2016).

2.10 Ekstraksi Maserasi

Ekstraksi merupakan metode memisahkan atau menarik satu atau lebih komponen aktif senyawa metabolit sekunder dalam suatu campuran menggunakan pelarut organik yang sesuai. Dalam proses ekstraksi, terjadi kesetimbangan antara konsentrasi pelarut dengan senyawa yang berada dalam sel tanaman, sehingga proses ekstraksi akan dihentikan setelah mencapai kondisi kesetimbangan tersebut. Pelarut organik yang digunakan harus kemampuan untuk melarutkan senyawa target melarutkan komponen lain yang tidak diinginkan (Wilson *et al*., 2000). Menurut Sarker *et al*. (2006), proses ekstraksi memiliki beberapa tujuan, di antaranya untuk mendapatkan senyawa bioaktif yang belum diketahui, mengekstraksi senyawa yang keberadaan dalam suatu organisme, atau untuk mempelajari senyawa yang memiliki keterkaitan sistematis dengan metabolit dalam suatu organisme. Pemilihan metode ekstraksi sangat bergantung pada sifat fisikokimia senyawa yang akan diisolasi, seperti kelarutan, stabilitas termal, dan polaritas.

Maserasi merupakan salah satu metode ekstraksi sederhana yang dilakukan tanpa menggunakan pemanasan, sehingga disebut juga sebagai metode “ekstraksi dingin”. Proses ini melibatkan perendaman serbuk simplisia tanaman dalam pelarut organik yang sesuai di dalam wadah tertutup rapat, dan disimpan pada suhu ruang selama waktu tertentu. Metode ini dipilih terutama untuk mengekstrak senyawa yang bersifat termolabil, yaitu senyawa yang mudah rusak jika terkena panas. Dengan demikian, maserasi menjaga stabilitas senyawa bioaktif selama proses ekstraksi berlangsung. Proses maserasi dihentikan dengan

memisahkan pelarut dari serbuk simplisia menggunakan penyaringan. Pelarut yang telah digunakan dalam proses ekstraksi biasanya mengandung senyawa bioaktif target, yang kemudian dapat diproses lebih lanjut melalui evaporasi atau metode pemurnian lainnya untuk mendapatkan ekstrak yang lebih pekat dan murni (Mukhriani, 2014).

2.11 Bioselulosa

Bioselulosa adalah istilah yang mengacu pada semua jenis selulosa yang dihasilkan oleh mikroorganisme, terutama bakteri asam asetat seperti *Acetobacter xylinum*. Salah satu produk bioselulosa yang paling populer adalah *Nata de coco*. Bioselulosa ini merupakan polimer selulosa yang dihasilkan oleh bakteri *Acetobacter xylinum* melalui proses fermentasi pada media yang kaya glukosa, seperti air kelapa, air limbah tahu, air limbah nanas, dan substrat lainnya (Zubaidi dan Kasipah, 2011). Bioselulosa termasuk dalam kelompok hidrokoloid dan dikenal sebagai eksopolisakarida dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi. Tidak seperti selulosa tumbuhan, bioselulosa bebas dari senyawa-senyawa, seperti lignin, pektin, dan hemiselulosa, sehingga kualitasnya lebih murni (Sukara dan Meliawati, 2014).

Bioselulosa memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya bahan serbaguna di berbagai industri. Salah satu sifat unggulannya adalah kemampuannya yang sangat hidrofilik, artinya bioselulosa mampu menyerap dan mengikat air dalam jumlah besar. Selain itu, bioselulosa memiliki sifat fisik dan mekanik yang tinggi, termasuk kekuatan tarik yang besar (Syamsu *et al*., 2013). Bioselulosa juga dapat diproduksi menggunakan berbagai substrat, seperti glukosa, sukrosa, fruktosa, gliserol, mannitol, dan arabitol, yang terdapat dalam medium bersifat asam (Voon *et al*., 2016). Beberapa mikroorganisme yang mampu menghasilkan selulosa antara lain genus *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, dan *Sarcina* (Melliawati, 2015). Mikroorganisme ini mensintesis bioselulosa dalam bentuk selulosa ekstraseluler murni, yang kemudian digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai aplikasi. Bioselulosa memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan selulosa dari tanaman, misalnya kristalinitas tinggi, derajat polimerisasi yang tinggi, kapasitas mengikat air yang besar dan kekuatan mekanik yang tinggi (Tsouko *et al*., 2015). Dengan adanya sifat

tersebut, bioselulosa memiliki potensial aplikasi yang luas, termasuk sebagai material alternatif dalam industri kertas, tekstil, biomedik (sebagai penutup luka), maupun sebagai pembungkus makanan (Voon *et al*., 2016).



Gambar 2. 9 Membran bioselulosa (Widyaningsih dan Purwati, 2013)

2.12 Kertas Bioselulosa

Kertas bioselulosa merupakan jenis kertas inovatif yang berbahan dasar bioselulosa, seperti *Nata de coco* yang dipadukan dengan bahan tambahan sebagai pengikat. Bahan tambahan tersebut meliputi tapioka, kaolin, dan lain sebagainya yang masing-masing peran spesifik dalam memperbaiki sifat fisik dan mekanik kertas. Tapioka berfungsi sebagai pengikat yang meningkatkan daya ikatan antarserat. Dengan penambahan tapioka, serat bioselulosa menjadi lebih kompak, sehingga memperkuat ketahanan tarik kertas. Namun, sifat pengikat dari tapioka juga menyebabkan berkurangnya daya serap air pada kertas. Hal ini terjadi karena peningkatan jumlah ikatan antarserat mengurangi pori-pori yang dapat menyerap air. Adapun, kaolin sebagai bahan anorganik yang berikatan dengan permukaan serat bioselulosa dan mengisi ruang kosong antarserat. Penambahan kaolin cenderung meningkatkan daya serap air karena sifatnya yang padat dan kaku. Dengan adanya kaolin menciptakan rongga udara pada titik kontak antarserat, memungkinkan air lebih mudah masuk ke dalam struktur kertas.

Proses pembuatan kertas bioselulosa melibatkan beberapa langkah penting, mulai dari pemurnian bioselulosa hingga pencampuran dengan bahan tambahan. *Nata de coco* atau sumber bioselulosa lain diolah menjadi lembaran serat yang dapat dicetak menjadi kertas. Selama proses ini, peran bahan tambahan menjadi penentu sifat akhir produk. Kombinasi optimal antara bioselulosa, tapioka dan kaolin menghasilkan kertas dengan karakteristik tertentu, seperti kekuatan tarik, daya serap air, dan ketahan mekanik (Syamsu *et al*., 2013).

2.13 Uji Mutu *Strip Test* Indikator Asam Basa

2.13.1 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan adalah pengujian awal untuk mengetahui perubahan warna pada media *strip test* indikator asam basa pada larutan asam atau basa. Media *strip test* yang digunakan dalam uji pendahuluan telah diimobilisasi dengan ekstrak bahan alam yang mengandung pigmen atau senyawa tertentu, seperti antosianin, brazilin, dan kurkumin, yang dapat bereaksi dengan asam basa. Parameter utama yang diamati dalam uji pendahuluan yaitu perubahan warna yang dihasilkan sesuai dengan sifat asam atau basa larutan uji. *Strip test* yang telah dicelupkan ke dalam larutan uji akan membuat media *strip test* berubah warna karena adanya perubahan pH (Parhan *et al*., 2024).

2.13.2 Uji Waktu Respon

Waktu respon adalah proses pengujian yang bertujuan untuk mengukur durasi yang diperlukan agar *strip test* dapat menghasilkan intensitas sinyal yang stabil dengan ditunjukkan oleh perubahan warna pada stip test tersebut. Pengujian waktu respon dilakukan dengan mengamati waktu yang dibutuhkan sampai *strip test* mencapai perubahan warna yang konstan. Dalam menentukan waktu respon, variasi waktu tertentu akan diuji hingga diperoleh titik di mana perubahan warna *strip test* tidak lagi signifikan atau tidak terjadi perubahan lebih lanjut dalam rentang waktu berikutnya (Parhan *et al*., 2024).

Pada uji waktu respon, perubahan warna yang terjadi pada *strip test* dianalisis dengan mengukur nilai intensitas RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) menggunakan aplikasi *Color Picker*. Nilai intensitas RGB digunakan untuk memantau perubahan warna secara kuantitatif dan menentukan waktu yang tepat di mana *strip test* menunjukkan hasil yang stabil, memberikan indikasi bahwa *strip test* telah mencapai kondisi akhir di mana tidak ada perubahan lebih lanjut, sehingga uji waktu respon tidak hanya mengukur durasi perubahan warna, tetapi juga memastikan konsistensi dan keandalan hasil tes yang diperoleh (Parhan *et al*., 2024).

2.13.3 Uji Stabilitas

Uji stabilitas merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *strip test* dalam mempertahankan kemampuan mendeteksi asam basa

suatu larutan uji terhadap perubahan lingkungan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa *strip test* tetap memberikan hasil yang konsisten dan akurat selama masa penyimpanan atau dalam kondisi tertentu. Parameter utama yang diamati dalam uji stabilitas yaitu perubahan warna yang dihasilkan, yang menunjukkan tingkat responsivitasnya terhadap larutan uji. Perubahan warna tersebut dianalisis nilai intensitas RGB menggunakan aplikasi *Color Picker* pada waktu pengujian yang telah ditentukan dan dibandingkan dengan hasil awal untuk melihat apakah telah terjadi penurunan fungsi atau efektivitas dari *strip test* (Wasito *et al*., 2017).

2.13.4 Uji Biodegradabilitas

Uji biodegradabilitas adalah pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa *strip test* indikator asam basa yang dikembangkan dapat terurai secara alami di lingkungan, khususnya di dalam tanah setelah beberapa waktu. Tujuan dari uji ini adalah untuk menilai apakah *strip test* tersebut dapat mengalami proses degradasi alami tanpa meninggalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Uji biodegradabilitas penting untuk menjamin bahwa *strip test* indikator asam basa memiliki sifat ramah lingkungan. Produk yang dapat terurai secara alami di tanah akan mengurangi potensi akumulasi limbah berbahaya, serta menghindari risiko pencemaran yang dapat membahayakan ekosistem dan kesehatan manusia. Hal ini juga mendukung upaya pengurangan limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan benar (Mohee dan Unmar, 2007).