

Pendeteksi Tiang Gawang dengan Metode Deteksi Kontur

Aditya Putra Santosa 13517013
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung
E-mail: 13517013@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Robot sepakbola humanoid menggunakan metode pemrosesan citra dan deteksi objek untuk mencari tiang gawang di lapangan. Salah satu tantangan yang harus dihadapi adalah mendeteksi tiang gawang dengan berbagai tingkat kecerahan dan latar belakang yang bervariasi. Penulis menggunakan gabungan metode pemrosesan citra seperti pengambangan dan penapisan citra dengan metode pendeteksian kontur untuk mendeteksi tiang gawang.

Index Terms—robot, humanoid, image processing, contour, computer vision

I. PENDAHULUAN

A. Robot Humanoid

Robot humanoid adalah robot yang memiliki bentuk menyerupai manusia. Secara spesifik, robot humanoid memiliki tepat 2 tangan, 2 kaki, 1 badan, 1 kepala, dan bergerak selayaknya manusia. Kontes Robot Sepak Bola Humanoid Indonesia (KRSBI-H) adalah salah satu dari banyak cabang Kontes Robot Indonesia yang diselenggarakan oleh Pusat Prestasi Nasional, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan diikuti oleh berbagai tim mahasiswa pada Perguruan Tinggi yang tercatat di Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan Pangkalan Data Pendidikan Tinggi. Aturan pada KRSBI-H mengacu pada peraturan Robocup KidSize League hingga tahun 2019 lalu. Aturan tersebut tidak jauh berbeda dengan peraturan sepak bola sederhana yaitu robot harus menggunakan kaki untuk menendang dan robot tidak boleh menyentuh bola dengan tangannya kecuali jika robot tersebut bertugas sebagai kiper.

Adapun aturan tambahan pada KRSBI-H yaitu robot harus bergerak tanpa dikendalikan oleh manusia, sehingga robot harus mampu mengevaluasi kondisi sekitarnya dan bermain sepak bola dengan baik secara otomatis. Salah satu kemampuan yang dibutuhkan robot untuk bermain sepak bola dengan baik adalah menemukan gawang. Dengan menemukan gawang, robot akan memiliki tujuan tendangan ketika sudah berhasil mendapat bola dan mencetak gol.

B. Pendeteksi Tiang Gawang

Terdapat beberapa metode yang umum dilakukan untuk mendeteksi tiang gawang. Salah satunya adalah dengan menggunakan *computer vision* baik dengan metode pembelajaran mesin atau dengan metode pengolahan citra. Kedua metode

tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing masing, namun pada paper ini akan dibahas teknik pendeteksian tiang gawang dengan metode non pembelajaran mesin, secara spesifik metode deteksi kontur. Hal ini dikarenakan metode pembelajaran mesin membutuhkan spesifikasi perangkat keras yang cukup tinggi agar bisa dilakukan pendeteksian tiang gawang secara *realtime*.

Pendeteksian tiang gawang yang dilakukan dibagi menjadi 3 tahap umum yaitu: pengolahan citra, pendeteksian objek, pemilihan objek. Tahap awal pengolahan citra akan mengubah citra dari tangkapan kamera robot menjadi citra yang lebih mudah digunakan saat proses pendeteksian. Pada tahap ini akan digunakan teknik pengambangan warna dan penapisan citra untuk berusaha meminimalkan objek lain yang bukan merupakan tiang gawang. Tahap selanjutnya merupakan pendeteksian objek dengan menggunakan metode deteksi kontur. Kontur yang berhasil dideteksi akan di olah lebih lanjut pada tahap selanjutnya yaitu pemilihan objek. Pada tahap ini akan menggunakan metode *minimum bounding rectangle* dan juga tambahan beberapa metode berbasis aturan untuk memisahkan tiang gawang dengan objek menyerupai tiang gawang lainnya.

C. Batasan

Metode pendeteksian tiang gawang yang penulis gunakan memiliki beberapa batasan yaitu: tiang gawang harus selalu terlihat tegak lurus dari kamera robot. Tiang gawang yang memiliki kemiringan beberapa derajat masih dapat dideteksi, namun dengan akurasi yang lebih kecil dibanding tiang yang tegak lurus sempurna. Batasan kedua adalah warna tiang gawang haruslah putih / berbeda dari warna lapangan.

II. PEMROSESAN CITRA DIGITAL

A. Citra Digital

Citra merupakan fungsi kontinu dua dimensi $f(x, y)$ dimana x dan y merupakan koordinat spatial dan amplitud f pada pasangan koordinat (x, y) merupakan intensitas atau tingkat keabuan citra pada titik tersebut [1].

Citra digital merupakan bentuk dari citra yang sudah digitalisasi dengan menggunakan metode *sampling* dan kuantisasi. Proses *sampling* pada fungsi 1 dimensi dilakukan dengan mengambil kumpulan titik diantara 2 titik yang terpisah dengan jarak yang sama. Kemudian nilai fungsi tersebut akan dievaluasi pada setiap titik tersebut. Proses *sampling* pada

fungsi dua dimensi seperti citra menggunakan metode yang sama namun dilakukan baris per baris [1]. Metode *sampling* tersebut mengasumsikan bahwa citra kontinu pada kedua arah koordinatnya. Pada kenyataannya, *sampling* citra kontinu dilakukan dengan menempatkan berbagai sensor penangkap intensitas cahaya dalam suatu susunan tertentu. Hal ini menyebabkan batas akurasi *sampling* dibatasi oleh kualitas sensor dan susunan yang digunakan.

Kuantisasi merupakan proses mengubah nilai intensitas cahaya menjadi nilai diskrit. Metode yang digunakan adalah membagi rentang nilai intensitas cahaya menjadi beberapa tingkatan, sehingga setiap nilai intensitas cahaya akan dipetakan ke tingkat terdekatnya [1]. Terdapat beberapa metode yang umum dilakukan untuk kuantisasi, salah satunya adalah membagi intensitas cahaya menjadi 2^m tingkatan dimana m adalah bilangan bulat. Dengan menggunakan 2^m tingkat, proses kuantisasi hanya membutuhkan m bit saja untuk menyimpan tingkatan intensitas nya.

B. Ruang Warna

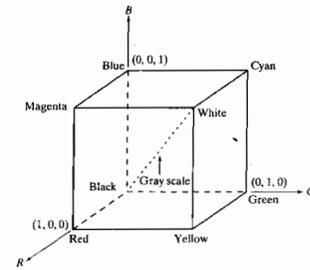
Kegunaan warna dalam pemrosesan citra didasari oleh dua faktor utama. Pertama, warna merupakan ciri khas khusus dari suatu objek yang sangat berguna dalam proses identifikasi / ekstraksi objek. Kedua, manusia cenderung lebih bisa membedakan warna dibanding membedakan tingkat keabuan suatu citra [1]. Sehingga penting bagi citra digital untuk menyimpan informasi warna dari citra yang ditangkap untuk analisis lebih lanjut.

Ruang warna merupakan spesifikasi warna pada citra digital yang berbentuk sistem koordinat dimana setiap warna direpresentasikan oleh satu titik. Setiap ruang warna memiliki kegunaannya masing masing dalam pemrosesan citra digital. Sebagai contoh, ruang warna HSI (*hue, saturation, intensity*) memisahkan informasi warna dengan tingkat keabuan citra sehingga cocok untuk diterapkan pada berbagai teknik manipulasi tingkat keabuan citra [1].

Ruang warna yang paling umum diketahui adalah RGB (*Red, Green, Blue*) dimana warna dinyatakan sebagai kombinasi dari 3 warna primer merah, hijau, biru. Ruang warna RGB menggunakan koordinat kartesian 3 dimensi dengan setiap dimensi menyatakan warna primer yang berbeda [1]. Ketika nilai setiap warna primer dinormalisasi ke dalam rentang 0 hingga 1, akan didapat bentuk kubus yang merepresentasikan semua warna yang terdapat pada ruang warna RGB seperti pada gambar 1.

C. Pengambangan Warna

Pengambangan warna merupakan proses pemetaan citra digital menjadi citra biner dengan mengecek warna pixel pada citra. Pixel dengan warna dalam rentang yang diberikan akan dipetakan menjadi pixel bernilai 1 pada citra biner. Pixel yang tidak dalam rentang warna yang diberikan akan dipetakan menjadi nilai sebaliknya yaitu 0. Secara matematis,



Gambar. 1: Ilustrasi ruang warna RGB [1].

pengambangan warna pada citra RGB S dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$D(x, y) = \begin{cases} 1, & R_{bawah} \leq S(x, y)_r \leq R_{atas} \ \& \\ & G_{bawah} \leq S(x, y)_g \leq G_{atas} \ \& \\ & B_{bawah} \leq S(x, y)_b \leq B_{atas} \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases} \quad (1)$$

Dikarenakan warna merupakan salah satu ciri khas khusus yang dapat digunakan untuk identifikasi / ekstraksi objek, pengambangan warna dapat digunakan untuk memilih bagian dari citra yang berisi objek yang dicari.

Untuk deteksi tiang gawang, warna tiang gawang didominasi oleh warna putih sehingga pengambangan warna pada citra dengan rentang warna putih akan menghasilkan citra biner yang memperlihatkan bagian dari citra yang mungkin berisi tiang gawang di dalamnya.

Namun, metode pengambangan citra cukup rentan terhadap derau dan intensitas cahaya pada saat citra diambil. Sehingga, masih dibutuhkan metode pemrosesan citra digital lainnya untuk mendapatkan posisi tiang gawang dalam citra secara akurat.

D. Penapisan Spasial

Penapisan spasial merupakan salah satu metode pemrosesan citra digital yang dapat digunakan untuk berbagai hal. Cara kerja penapisan spasial pada suatu pixel adalah dengan melakukan operasi matematis tertentu pada tetangga pixel tersebut. Jika operasi yang dilakukan bersifat linier, maka penapis tersebut dinamakan penapis spasial linier, dan jika sebaliknya maka dinamakan penapis spasial nonlinier [1].

Umumnya, penapisan spasial dilakukan dengan menggunakan suatu kernel dan melakukan proses operasi konvolusi pada tetangga pixel. Persamaan matematis penapisan spasial dengan operasi konvolusi adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} D(x, y) &= w * S(x, y) \\ &= \sum_{dx=-a}^a \sum_{dy=-b}^b w(dx, dy) S(x + dx, y + dy) \end{aligned} \quad (2)$$

Matriks w menandakan kernel yang digunakan, sementara a dan b merupakan setengah dari ukuran kernel tersebut.

Kernel yang digunakan pada proses penapisan spasial akan sangat mempengaruhi citra yang dihasilkan. Sebagai contoh, jika kernel berukuran matriks 3x3 dan berisi $\frac{1}{9}$ semua, maka proses penapisan spasial akan sama dengan merata ratakan setiap pixel terhadap tetangganya. Sehingga, citra yang dihasilkan akan terlihat lebih buram dari citra aslinya. Kernel tersebut umumnya disebut sebagai penapis aras rendah karena meloloskan pixel dengan frekuensi rendah dan menekan pixel dengan frekuensi tinggi seperti derau.

Selain penapis linier, terdapat pula penapis nonlinier. Penapis nonlinier secara umum bekerja tanpa melakukan operasi matematis terhadap tetangga pixel, namun melakukan pengu-rutan ataupun pemilihan pada tetangganya untuk digunakan sebagai hasil penapisan. Contoh penapis nonlinier adalah penapis median, hasil dari penapis median pada suatu pixel merupakan median dari tetangganya.

E. Penapis Gaussian

Penapis aras rendah merupakan kernel yang digunakan untuk menghilangkan derau pada citra, namun jika kernel tersebut memiliki frekuensi pemotong yang tajam maka hasil penapisan dengan kernel tersebut akan menghasilkan citra yang bergelombang pada komponen citra yang memiliki transisi nilai intensitas yang cukup tajam [2]. Contoh gelombang yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar. 2: Efek gelombang akibat frekuensi pemotong yang tajam [3]

Untuk mengatasi masalah tersebut, koefisien pada kernel penapis aras rendah diambil dari fungsi yang bersifat tidak bergelombang pada domain frekuensi dan spasial. Salah satu fungsi / distribusi yang memenuhi adalah fungsi gaussian. Pada 1 dimensi, fungsi gaussian dihitung dengan formula berikut.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

Pada 2 dimensi, fungsi gaussian dihitung dengan mengalikan 2 fungsi gaussian pada arah kedua sumbu masing masing, sehingga didapat formula berikut.

$$f(x, y) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Untuk mempermudah komputasi, kernel penapis gaussian umumnya berukuran 3x3 dan berisi koefisien yang meng-

hampiri nilai fungsi gaussian pada pusatnya. Contoh kernel tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Sama seperti penapis aras rendah biasa, penapis gaussian juga akan menghasilkan citra yang lebih buram dari citra aslinya. Tingkat keburaman citra hasil diatur oleh ukuran penapis gaussian yang digunakan. Semakin besar ukuran kernel gaussian yang digunakan, semakin buram pula citra hasilnya.

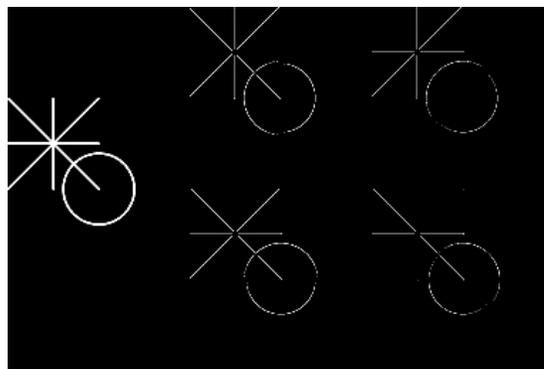
F. Penapis Gabor

Penapis gabor merupakan penapis linier yang dapat digunakan untuk analisis tekstur atau untuk melakukan penapisan komponen citra yang memiliki frekuensi dan arah tertentu. Penapis gabor dibangkitkan dari fungsi gabor yang merupakan hasil perkalian fungsi gaussian dengan fungsi sinusoidal kompleks [4]. Rumus fungsi gabor pada 2 dimensi adalah sebagai berikut:

$$G(x, y|W, \theta, \phi, X, Y) = \exp\left(\frac{-[(x - X)^2 + (y - Y)^2]}{2\sigma^2}\right) \times \sin(W(x\cos\theta - y\sin\theta) + \phi) \quad (5)$$

dimana σ menyatakan simpangan fungsi gaussian, θ menyatakan orientasi / arah, W menyatakan frekuensi, ϕ menyatakan fase dari fungsi sinusoidal kompleks yang digunakan. X, Y menyatakan titik tengah dari penapis [5].

Dikarenakan nilai koefisien penapis gabor ditentukan oleh θ , penapis gabor dapat digunakan untuk membuang komponen citra yang memiliki arah θ . Contoh penerapan penapis gabor dengan berbagai nilai θ dapat dilihat pada gambar 3. Terlihat bahwa penapis gabor mampu menghilangkan garis dengan arah yang sama dengan θ .



Gambar. 3: Contoh penapis gabor dengan $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ (dari kiri atas ke kanan bawah, gambar asli di sebelah kiri). Sumber: Dibuat oleh penulis.

III. PENDETEKSIAN KONTUR

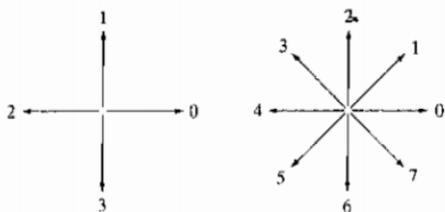
A. Kontur

Kontur merupakan garis atau batasan yang mewakili atau membatasi bentuk dari suatu objek. Dalam pengolahan citra,

kontur dari sebuah objek biasanya direpresentasikan menggunakan rangkaian titik koordinat pixel. Secara formal, rangkaian titik koordinat pixel yang dianggap sebagai kontur adalah rangkaian titik pada suatu bagian citra yang memiliki tetangga berupa latar belakang dari bagian citra tersebut. Latar belakang dari suatu bagian citra didefinisikan sebagai komplement dari bagian citra tersebut [1].

Kontur dapat ditemukan dengan menggunakan algoritma *Moore boundary tracking*. Algoritma tersebut bekerja dengan cara mulai dari pixel pada pojok kiri atas bagian citra dan lanjut ke tetangga dari pixel tersebut. Tetangga dicek searah jarum jam dan dipilih tetangga pertama yang bukan merupakan latar belakang. Algoritma akan berlanjut hingga tetangga yang dipilih merupakan pixel awal [1].

Kode rantai merupakan representasi umum dari kontur yang memetakan arah dari setiap bagian kontur menjadi angka. Gambar 4 menunjukkan pemetaan arah bagian menjadi angka untuk 2 tipe arah yaitu 4 arah dan 8 arah.



Gambar. 4: Pemetaan arah bagian kontur ke angka [1].

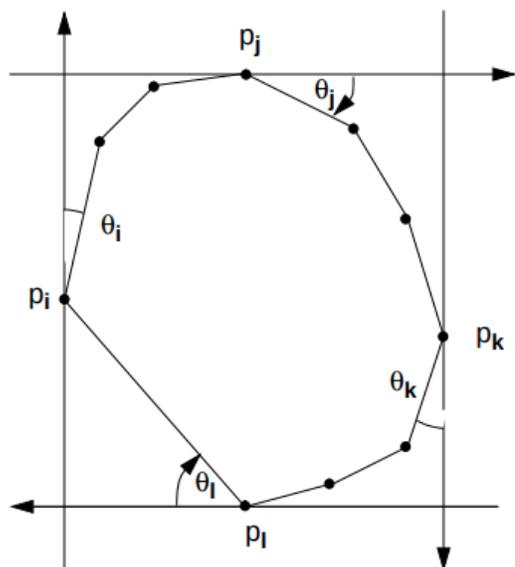
B. Minimum Bounding Rectangle

Minimum bounding rectangle merupakan persegi panjang dengan luas terkecil yang mencakup sekumpulan objek. Dalam lingkup citra digital, *minimum bounding rectangle* dari suatu kontur merupakan persegi panjang luas terkecil yang mencakup keseluruhan kontur.

Penghitungan *minimum bounding rectangle* didasari oleh teorema bahwa persegi panjang dengan luas terkecil yang mencakup suatu segi banyak konveks memiliki sisi yang kolinear dengan salah satu sisi segi banyak tersebut [6]. Berdasarkan teorema tersebut dan dengan memanfaatkan metode *rotating caliper*, dapat dibentuk *minimum bounding rectangle* dengan kompleksitas $O(n)$ [7].

Algoritma pencari *minimum bounding rectangle* dimulai dengan memilih titik yang memiliki nilai minimum dan maksimum pada sumbu x dan y. Titik tersebut akan dinamakan p_i, p_k, p_l, p_j . Kemudian, akan dibangun garis bantuan pada setiap titik tersebut dan akan membentuk kandidat persegi panjang yang awal. Garis bantuan merupakan garis yang melewati titik pada segi banyak dan memiliki arah sedemikian rupa sehingga segi banyak selalu berada di sisi kanan garis bantuan. Setelah membentuk garis bantuan, akan didapatkan 4 sudut $\theta_i, \theta_j, \theta_k, \theta_l$ yang merupakan sudut antara garis bantuan dengan sisi segi banyak. Berdasarkan teorema sebelumnya, sisi *minimum bounding rectangle* kolinear dengan sisi segi banyak,

sehingga setiap garis bantuan harus diputar sebanyak salah satu diantara 4 sudut tersebut agar sisinya kolinear dengan segi banyak. Sudut yang dipilih merupakan sudut yang paling kecil. Setelah selesai diputar, luas persegi panjang disimpan dan akan didapatkan 4 sudut baru yang harus ditinjau ulang. 4 sudut tersebut dipilih yang paling kecil dan garis bantuan diputar ulang. Algoritma diulang hingga kembali ke awal. Ilustrasi titik, garis bantuan dan sudut dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar. 5: Ilustrasi algoritma pencari *minimum bounding rectangle* [7]

Minimum bounding rectangle dapat digunakan untuk mengecek apakah kontur yang didapat menyerupai tiang gawang atau tidak. Tiang gawang umumnya berbentuk persegi panjang tegak, sehingga perbandingan luas *minimum bounding rectangle* dengan luas kontur seharusnya mendekati 1 dan orientasi dari persegi panjang juga seharusnya tegak lurus dengan panjang pada sumbu x jauh lebih kecil dibandingkan panjang pada sumbu y. Pengecekan tersebut yang nantinya akan digunakan untuk seleksi awal apakah suatu kontur merupakan tiang gawang atau bukan.

IV. ALUR PENDETEKSI TIANG GAWANG

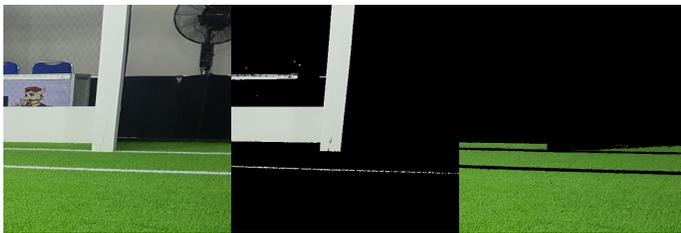
A. Pemrosesan Citra

Citra digital yang didapatkan oleh robot memiliki kualitas yang sangat bervariasi tergantung dari jarak robot dengan tiang, kondisi pencahayaan saat itu, dan ukuran tiang yang digunakan. Selain itu, pada citra digital yang didapat juga ada banyak komponen bukan tiang gawang yang berpotensi mempersulit proses pendeteksian objek tiang gawang. Tahap pemrosesan citra bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dan menghilangkan objek objek yang berpotensi bukan merupakan tiang gawang.

Tahap pemrosesan citra dibagi menjadi 2 sub tahapan yaitu pengembangan warna dan penerapan penapis gabor. Sebelum dilakukan pengembangan warna, pada citra digital diterapkan

terlebih dahulu penapis gaussian. Hal ini ditujukan untuk meminimalisir derau pada citra, dan juga untuk menghaluskan perbedaan corak warna yang terdapat pada citra. Perbedaan corak warna mungkin timbul dikarenakan kondisi pencahayaan yang sangat bervariasi. Tiang gawang yang terkena sinar matahari akan terlihat lebih putih dan kuning dibanding bagian tiang yang tidak, sehingga pada saat proses pengambangan warna, mungkin ada bagian tiang yang hilang karena tidak sama warnanya. Nilai batas pengambangan warna yang digunakan akan diatur secara manual tergantung dari kondisi keseluruhan pencahayaan saat itu.

Selain tiang gawang, proses pengambangan warna juga dilakukan untuk lapangan dengan menggunakan batas warna yang berbeda. Batas warna pengambangan warna untuk tiang gawang merupakan batas warna menyerupai putih, sementara untuk lapangan menggunakan batas warna menyerupai hijau / warna lapangan yang digunakan. Contoh tahap pengambangan warna dapat dilihat pada gambar 6.

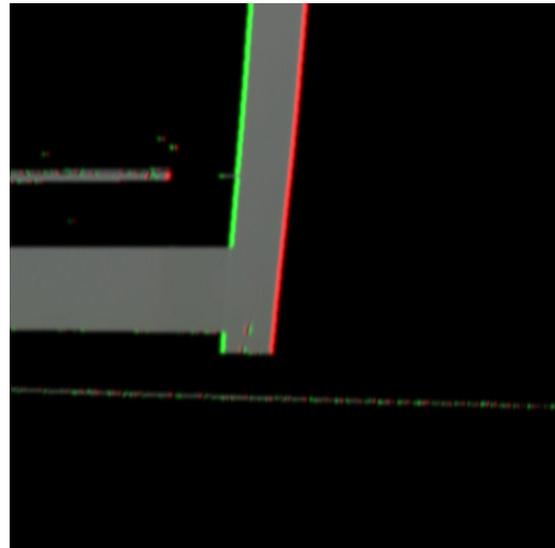


Gambar. 6: Ilustrasi tahap pengambangan warna. Sumber: Dibuat oleh penulis.

Tahapan selanjutnya adalah penerapan penapis gabor. Penapis gabor mampu menapis komponen citra yang memiliki arah tertentu. Dengan mengatur nilai $\theta = 0^\circ$ dan 180° , penapis gabor mampu menapis objek vertikal dari citra. Objek vertikal dihilangkan karena dinilai kurang berguna untuk mendeteksi tiang gawang. Tiang gawang terdiri dari 2 tiang horizontal dan 1 tiang vertikal, namun ketika robot berada di dekat gawang, susah baginya untuk menemukan tiang vertikal tersebut. Robot harus menghadap ke atas untuk melihat tiang vertikal, dibandingkan dengan hanya melihat kanan kiri untuk mencari tiang horizontal. Penapisan objek vertikal juga berguna untuk menghilangkan garis lapangan dari citra, sehingga meminimalkan objek yang harus di cek nantinya. Nilai $\theta = 180^\circ$ juga harus dicek karena penapis gabor sangat sensitif terhadap arah komponen. Sisi kiri tiang yang berwarna hitam di kiri dan putih di kanannya akan memiliki arah yang berbeda dengan sisi kanan tiang yang berwarna putih di kiri dan hitam di kanannya. Hasil penapisan gabor dan perbedaan antara nilai $\theta = 0^\circ$ dan 180° dapat dilihat pada gambar 7.

B. Pendeteksian Objek

Tahap pendeteksian objek berfokus pada menemukan posisi kandidat tiang gawang dalam citra. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk tahap ini yaitu: metode berbasis pembelajaran mesin (*Convolutional Neural Network*, *Support Vector Machine*, dan lain lain), *Hough Line Transform*,



Gambar. 7: Perbandingan θ penapis gabor (Hijau = 0° , Merah = 180°). Sumber: Dibuat oleh penulis.

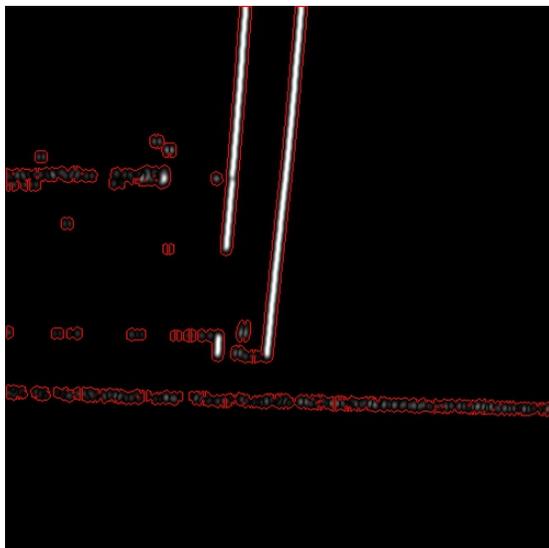
dan kontur. Masing masing metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing. Metode berbasis pembelajaran mesin merupakan metode terbaru diantara ketiganya dan memiliki potensi menghasilkan performa yang baik pada berbagai kondisi cahaya. Hal ini sangat berguna karena kondisi cahaya yang sangat bervariasi dan susah ditebak menyebabkan hasil pemrosesan citra tiang gawang menjadi berbeda beda. Hasil pemrosesan citra yang berbeda beda menghasilkan tiang gawang yang tidak selalu berupa garis lurus, namun mungkin saja terdiri dari potongan garis yang mungkin juga tidak lurus sepenuhnya. Metode pembelajaran mesin berpotensi mampu mengeneralisir berbagai hasil pemrosesan citra ini dalam menemukan tiang gawang. Namun, metode pembelajaran mesin juga memiliki kelemahan yaitu membutuhkan data latih yang besar, waktu latih yang cukup lama, dan daya komputasi yang lebih besar dibanding metode lainnya. Agar memiliki performa yang bagus, data latih yang digunakan harus mencakup berbagai kondisi tiang gawang, baik itu dari variasi kondisi cahaya ataupun variasi posisi dan kemiringan gawang. Daya komputasi juga menjadi masalah karena pendeteksian gawang dilakukan setiap saat dan idealnya berlangsung setara dengan kecepatan (frame per sekon) kamera robot.

Metode kedua adalah *Hough Line Transform*. *Hough Line Transform* bekerja dengan cara memetakan citra digital ke ruang *hough* dan kemudian melakukan proses voting pada setiap kandidat garis untuk mendapatkan posisi garis pada citra. Kelebihan metode *hough line transform* adalah kecepatannya, metode ini memiliki kecepatan yang lebih cepat dibanding metode pembelajaran mesin, dan kecepatan yang hampir sama dengan metode kontur tergantung dari berapa banyak garis dan pixel yang tersisa dari tahap pemrosesan citra. Kelemahan dari metode ini adalah garis yang berada pada citra haruslah berupa garis lurus sempurna. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, variasi kondisi cahaya akan menyebabkan tiang

gawang tidak selalu berupa garis lurus. Metode *hough line transform* akan gagal ketika hal tersebut terjadi, selain itu jika tiang gawang yang digunakan memiliki cacat (lapuk / cat tidak rata), maka hasil pemrosesan citranya pun tidak akan menjadi garis lurus sempurna yang menyebabkan metode ini gagal.

Metode ketiga adalah pencarian kontur pada citra. Metode kontur bekerja dengan cara mencari semua kontur yang berada pada citra dan mencari *minimum bounding rectangle* dari semua kontur tersebut. Properti kontur dan *minimum bounding rectangle* seperti luas dan orientasi dapat digunakan untuk menentukan secara kasar apakah objek didalam kontur berupa persegi panjang atau tidak. Kelebihan metode kontur dibanding 2 metode lainnya adalah kecepatan dan toleransinya. Metode kontur memiliki kecepatan evaluasi yang mirip dengan metode *hough line transform*, tapi juga memiliki toleransi yang mirip dengan metode pembelajaran mesin. Variasi kondisi cahaya yang menyebabkan garis tidak lurus / putus putus tidak menyebabkan masalah pada metode kontur karena garis tidak lurus / putus putus masih memiliki kontur yang mirip dengan garis lurus biasa. Namun, toleransi tersebut yang juga menjadi kelemahan metode kontur. Metode ini tidak mampu memilah kontur sebaik metode pembelajaran mesin, sehingga dibutuhkan tahap lanjutan untuk memilah kontur.

Metode yang digunakan dalam paper ini adalah metode kontur. Hasil dari tahap pemrosesan citra langsung digunakan sebagai citra basis pencarian kontur. Kontur yang ditemukan disimpan dalam bentuk kumpulan titik koordinat batasan kontur untuk diproses lebih lanjut. Contoh hasil metode kontur dapat dilihat pada gambar 8. Garis merah menunjukkan batasan setiap kontur. Pada gambar 8 juga terlihat bahwa setiap kumpulan pixel putih akan dideteksi sebagai 1 kumpulan kontur, sehingga menyebabkan jumlah kontur yang terdeteksi menjadi banyak.



Gambar. 8: Hasil metode kontur. Sumber: Dibuat oleh penulis.

C. Pemilihan Objek

Dikarenakan tahap pendeteksian objek menghasilkan banyak kontur, tahap pemilihan objek pun harus dilakukan untuk menentukan kontur yang paling mungkin berupa tiang gawang. Pemilihan objek didasari oleh 3 hal yaitu: tiang gawang merupakan objek putih terbesar yang dilihat robot, tiang gawang berbentuk persegi panjang tegak, bagian bawah tiang gawang selalu berupa lapangan dan bagian atasnya selalu berupa non lapangan. Semua syarat tersebut harus dipenuhi oleh kontur untuk dapat dikatakan sebagai tiang gawang.

Syarat pertama yaitu tiang gawang merupakan objek putih terbesar yang dilihat robot dilakukan dengan mengurutkan kontur berdasarkan luasnya dan diambil n kontur dengan luas terbesar. Nilai n disesuaikan dengan banyaknya kontur yang terdeteksi pada tahap pendeteksian objek. Nilai n yang terlalu kecil akan menyebabkan beberapa kontur yang mungkin merupakan tiang gawang diabaikan dan nilai n yang terlalu besar akan menyebabkan proses pemilihan objek membutuhkan daya komputasi dan waktu yang besar. Selain mengambil n kontur terbesar, dapat juga dibatasi bahwa hanya kontur dengan luas diatas nilai tertentu yang dipilih untuk proses selanjutnya. Namun, luas kontur sangat bergantung pada jarak robot dengan tiang, ketika robot jauh dari tiang maka luas kontur tiang akan sangat kecil dan menyebabkan tiang gagal dipilih. Untuk menghindari hal tersebut pengambilan n kontur terbesar saja dipilih sebagai pengecekan syarat pertama karena lebih aman dibanding mengambil kontur dengan luas tertentu.

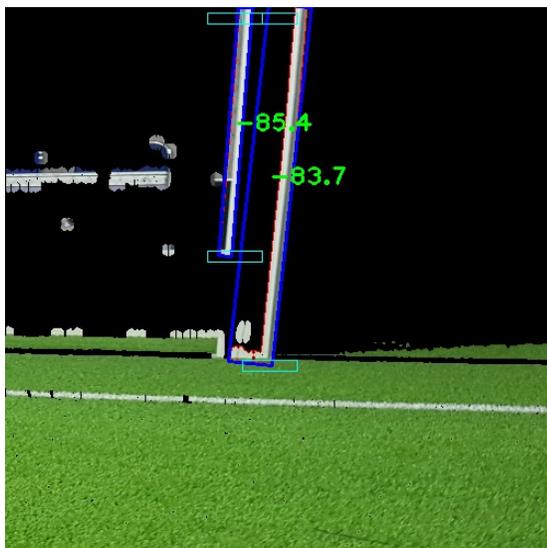
Syarat kedua yaitu tiang gawang berbentuk persegi panjang tegak dapat dicek dengan menghitung *minimum bounding rectangle* dari kontur. Dari persegi panjang tersebut didapatkan nilai x , y minimum dan maksimum dari persegi panjang (X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max}). Nilai x , y minimum dan maksimum tersebut akan digunakan apakah kontur tegak lurus dan memanjang terhadap sumbu y . Pengecekan dilakukan dengan menghitung $(Y_{max} - Y_{min}) - (X_{max} - X_{min}) > a$ dengan a adalah batasan perbedaan panjang yang dapat ditoleransi. Ide pengecekan tersebut berasal dari pengamatan 3 tipe persegi panjang yaitu: persegi panjang memanjang horizontal, persegi panjang dengan panjang sisi yang sama, persegi panjang memanjang vertikal. Ketiga tipe persegi panjang tersebut memiliki nilai $\Delta Y - \Delta X$ yang berbeda. Persegi panjang memanjang horizontal akan memiliki nilai $\Delta Y - \Delta X$ negatif, persegi panjang dengan sisi yang sama akan memiliki nilai 0, dan persegi panjang memanjang vertikal akan memiliki nilai positif. Sehingga, pengecekan apakah kontur merupakan persegi panjang yang memanjang pada sumbu y / memanjang vertikal dapat dilakukan dengan mengecek apakah $\Delta Y - \Delta X > a$.

Syarat ketiga dan terakhir adalah pengecekan daerah sekitar bagian bawah dan atas kontur. Dikarenakan tiang gawang selalu berada diatas lapangan, bagian bawah tiang akan selalu dikelilingi oleh warna hijau lapangan dan bagian atasnya akan berisi warna acak yang bukan lapangan. Pengecekan dilakukan dengan menggunakan gabungan citra pengambangan warna tiang gawang dengan citra pengambangan warna lapangan. Pada bagian bawah dan atas kontur dibuat batas persegi pan-

jang berukuran 50 x 10 pixel. Kemudian, akan dicek jumlah pixel yang tidak bernilai 0 didalam batas dibandingkan dengan luas batas tersebut. Kontur akan diloloskan jika persentase batas bawah dan atasnya ada dalam rentang yang telah ditentukan.

Pengecekan batas bagian atas dan bawah kontur penting dilakukan untuk menghilangkan kasus ujung yaitu garis lapangan vertikal dideteksi sebagai gawang. Garis lapangan vertikal memiliki warna dan properti yang sama dengan gawang yaitu berwarna putih, merupakan objek putih terbesar yang dilihat robot ketika tidak melihat gawang, dan tegak lurus terhadap sumbu x. Namun, ada 1 perbedaan yang dapat digunakan yaitu bagian atas kontur garis vertikal lapangan selalu berupa warna lapangan karena garis itu sendiri masih berada di lapangan.

Contoh ilustrasi tahap pemilihan objek dapat dilihat pada gambar 9. Terlihat pada gambar ada 2 kontur yang lolos syarat pertama dan kedua pemilihan objek. Kedua kontur tersebut masuk kedalam 5 kontur terbesar yang didapatkan dan juga memanjang pada sumbu y. Agar bisa dianggap tiang gawang, kedua kontur tersebut harus memenuhi syarat ketiga yaitu pengecekan batasan. Ilustrasi batas bawah dan atas kontur dapat dilihat pada kotak berwarna cyan dalam gambar 9. Terlihat hanya 1 kontur yang memenuhi syarat 3 yaitu bagian bawahnya terdiri dari warna lapangan, dan bagian atasnya tidak ada warna lapangan satupun. Sehingga, setelah syarat ketiga selesai dicek, sisa kontur yang lolos hanyalah 1 kontur saja yaitu kontur yang memiliki kemiringan -83.7° .

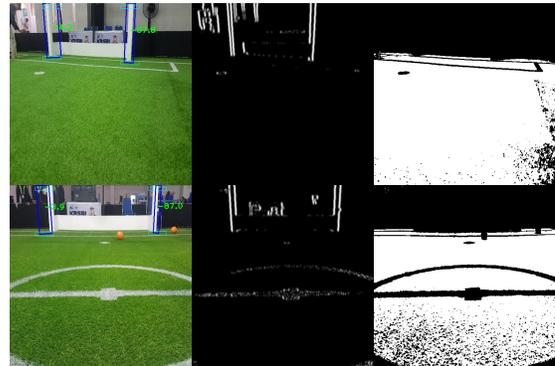


Gambar. 9: Ilustrasi pengecekan syarat tahap pemilihan objek. Sumber: Dibuat oleh penulis.

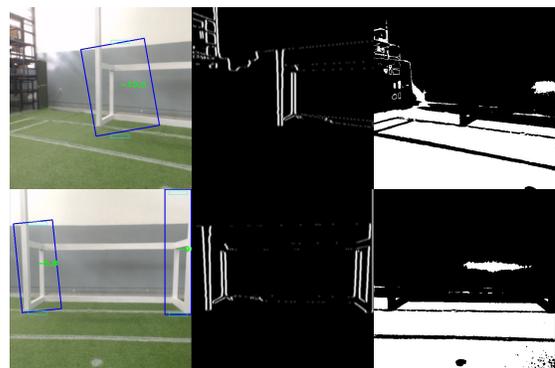
V. PENGUJIAN

Pengujian dilakukan pada citra dengan 2 kondisi pencahayaan yaitu dengan cahaya dari lampu tepat diatas lapangan dan dengan cahaya matahari yang masuk dari samping lapangan. Citra dengan cahaya dari lampu tepat diatas lapangan diambil di lapangan lomba Kontes Robot Sepak Bola Humanoid

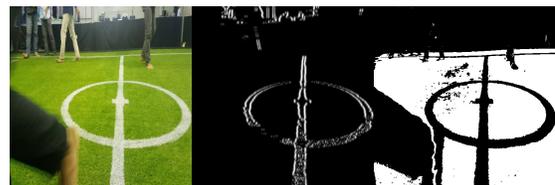
pada saat pelaksanaan Kontes Robot Indonesia 2019 lalu. Citra dengan cahaya matahari dari samping lapangan diambil di ruangan 7601 gedung Labtek V Institut Teknolog Bandung pada saat persiapan pelaksanaan Kontes Robot Indonesia 2019 lalu. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 10, 11, dan 12.



Gambar. 10: Pengujian pada lapangan KRI 2019. Sumber: Dibuat oleh penulis.



Gambar. 11: Pengujian pada ruangan 7601. Sumber: Dibuat oleh penulis.



Gambar. 12: Pengujian pada lapangan KRI 2019. Sumber: Dibuat oleh penulis.

Pengujian pada citra lapangan KRI 2019 menggunakan parameter pengambangan yang berbeda dengan citra pada ruangan 7601. Citra lapangan KRI 2019 menggunakan batas bawah 0,100,0 dan batas atas 150,255,75, sementara citra pada ruangan 7601 menggunakan batas bawah 0,100,0 dan batas atas 150,255,120. Perbedaan batas atas warna merah disebabkan oleh pengaruh cahaya matahari dan juga sedikit perbedaan warna rumput yang digunakan.

Gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa algoritma berhasil mendeteksi tiang gawang pada 2 kondisi pencahayaan. Dari gambar 12 juga terlihat bahwa metode pemilihan objek dengan syarat pengecekan lapangan mampu menghilangkan *false positive* saat citra yang diberikan berupa garis vertikal pada lapangan. Tanpa pengecekan lapangan, garis vertikal tersebut akan lolos tahap pemilihan objek dan akan dianggap sebagai tiang gawang.

VI. KESIMPULAN

Algoritma pemrosesan citra digital dan pendeteksian objek berbasis kontur mampu mendeteksi posisi tiang gawang dalam citra. Metode tersebut mampu mendeteksi tiang gawang dalam berbagai kondisi pencahayaan dan mampu mengeliminasi kasus ujung seperti tidak mendeteksi garis vertikal pada lapangan dengan warna putih sebagai tiang gawang.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis ingin menyatakan terima kasih kepada Dr. Ir. Rinaldi Munir, MT. sebagai dosen pengampu mata kuliah Interpretasi dan Pengolahan Citra IF4073 di kelas penulis. Penulis juga ingin berterima kasih kepada teman-teman penulis yang telah membantu dalam pembuatan makalah ini.

REFERENSI

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing (3rd Edition)*. USA: Prentice-Hall, Inc., 2006.
- [2] E. R. Davies, *Computer and Machine Vision, Fourth Edition: Theory, Algorithms, Practicalities*, 4th ed. USA: Academic Press, Inc., 2012.
- [3] N. R. Barth, "Ringing artifacts — Wikipedia, the free encyclopedia," 2010, [Diakses 22-Mei-2021]. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ringing_artifact_example.png
- [4] B. Manjunath, G. Haley, W.-Y. Ma, and S. Newsam, "4.9 - multiband techniques for texture classification and segmentation," in *Handbook of Image and Video Processing (Second Edition)*, second edition ed., ser. Communications, Networking and Multimedia, A. BOVIK, Ed. Burlington: Academic Press, 2005, pp. 455–470. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121197926500917>
- [5] I. Fogel and D. Sagi, "Gabor filters as texture discriminator," *Biological Cybernetics*, vol. 61, pp. 103–113, 2004.
- [6] H. Freeman and R. Shapira, "Determining the minimum-area enclosing rectangle for an arbitrary closed curve," *Commun. ACM*, vol. 18, no. 7, p. 409–413, Jul. 1975. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/360881.360919>
- [7] G. Toussaint, "Solving geometric problems with the 'rotating calipers.'" 1983.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Denpasar, 24 Mei 2021



Aditya Putra Santosa, 13517013