

**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI VIRTUALISASI PERGERAKAN JARI
TANGAN BERBASIS SINYAL MIOELEKTRIK MENGGUNAKAN SENSOR
ELEKTROMIOGRAFI DAN ALGORITMA JARINGAN SARAF TIRUAN**



GHAZWUL SHAF

D121201008

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI VIRTUALISASI PERGERAKAN JARI
TANGAN BERBASIS SINYAL MIOELEKTRIK MENGGUNAKAN SENSOR
ELEKTROMIOGRAFI DAN ALGORITMA JARINGAN SARAF TIRUAN**

**GHAZWUL SHAF
D121201008**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI VIRTUALISASI PERGERAKAN JARI
TANGAN BERBASIS SINYAL MIOELEKTRIK MENGGUNAKAN SENSOR
ELEKTROMIOGRAFI DAN ALGORITMA JARINGAN SARAF TIRUAN**

GAZWUL SHAF
D121201008

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Informatika

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

SKRIPSI

RANCANG BANGUN TEKNOLOGI VIRTUALISASI PERGERAKAN JARI
TANGAN BERBASIS SINYAL MIOELEKTRIK MENGGUNAKAN SENSOR
ELEKTROMIOGRAFI DAN ALGORITMA JARINGAN SARAF TIRUAN

GAZWUL SHAF

D121201008

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 4 September 2024 dan
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Informatika
Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan,
Pembimbing tugas akhir,

Mengetahui,
Ketua Program Studi,



...nes, M.T

...1002



Prof. Dr. Ir. Indrabayu, ST., MT.,
M.Bus.Sys., IPM, ASEAN. Eng.
NIP 197507162002121004

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Rancang Bangun Teknologi Virtualisasi Pergerakan Jari Tangan Berbasis Sinyal Mioelektrik Menggunakan Sensor Elektromiografi dan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan" adalah benar karya saya dengan arahan dari Ir. Christoforus Yohannes, M.T.. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 9 September 2024



GHAWUL SHAF
NIM D121201008



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun Teknologi Virtualisasi Pergerakan Jari Tangan Berbasis Sinyal Mioelektrik Menggunakan Sensor Elektromiografi dan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan”. Skripsi ini merupakan hasil dari perjalanan panjang penulis dalam mengeksplorasi dan menganalisis bidang pengembangan teknologi yang terus berkembang dengan pesat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Ibu dosen pembimbing, bapak Ir. Christoforus Yohannes, M.T. dan ibu Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T.
2. Bapak Ibu dosen Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Orangtua penulis, Syamsul Bahri dan Hafsa
4. Saudara-saudari penulis
5. Teman-teman dan senior di Lab. Animasi dan Multimedia Departemen Teknik Informatika FT-UH
6. Teman-teman angkatan Rezolver 20
7. Teman-teman BOBA KKN Smart Village Barru Gel. 110
8. Pihak-pihak lain yang tidak sempat penulis tuliskan

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang positif dalam pengembangan bidang teknologi. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penelitian ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar penelitian ini dapat ditingkatkan ke depannya.

Akhirnya, penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan yang terdapat dalam skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan Ridha-Nya atas segala usaha yang telah penulis lakukan.

Penulis,

Ghazwul Shaf



ABSTRAK

GHAZWUL SHAF. **Rancang Bangun Teknologi Virtualisasi Pergerakan Jari Tangan Berbasis Sinyal Mioelektrik Menggunakan Sensor Elektromiografi dan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan** (dibimbing oleh Christoforus Yohannes)

Latar belakang. *Virtual Reality* (VR) merupakan teknologi yang memungkinkan interaksi terhadap realitas virtual yang terlepas dari realitas fisik yang sebenarnya. Pemanfaatan VR telah merambah ke berbagai bidang, tidak terkecuali bidang kedokteran dan kesehatan. Namun dalam penggunaannya, terdapat keterbatasan penggunaan perangkat VR pada pasien dengan keterbatasan fisik. **Tujuan.** Membangun sistem menggunakan sensor AD8232 sebagai sensor elektromiografi untuk mendeteksi perubahan gerakan jari tangan dan mengklasifikasikan sinyal dengan algoritma Jaringan Saraf Tiruan. **Metode.** Terdapat 4 model gerak jari tangan yang dimodelkan. Pengambilan data dilakukan dengan frekuensi pengambilan (*sampling rate*) 1000 Hz selama 15 detik untuk setiap model gerakan. Konsep sangkar Faraday digunakan untuk menghindari gangguan gelombang elektromagnetik lain saat pengambilan data. Pengambilan data dilakukan sebanyak enam kali dengan pengambilan tanpa atau dengan sangkar. Data mentah sinyal mioelektrik diproses dengan enam metode ekstraksi fitur. Pelatihan model klasifikasi melalui dua tahap proses utama, yaitu *feedforward* dan *backpropagation* dengan satu layar tersembunyi (*hidden layer*) (12 *node*). Tingkat akurasi model klasifikasi divalidasi terhadap dataset dan data *realtime*. **Hasil.** Data yang diambil tanpa sangkar Faraday memiliki tingkat presisi lebih tinggi, yaitu 73,92% dibandingkan dengan data yang diambil dengan sangkar, yaitu 64,05%. Namun, data yang diambil dengan sangkar Faraday dan ekstraksi fitur acak memiliki tingkat stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan data lainnya. **Kesimpulan.** Sensor AD8232 tanpa modifikasi dapat mendeteksi perubahan gerakan jari tangan berdasarkan sinyal mioelektrik yang diukur. Namun, pengaruh perbedaan *sampling rate* dan *refresh rate* menyebabkan rancangan sistem klasifikasi model gerak jari tangan berdasarkan waktu nyata (*realtime*) tidak dapat dilakukan.

Kata kunci: *Virtual Reality*; AD8232; sangkar Faraday; ekstraksi fitur; *sampling rate*; *refresh rate*



ABSTRACT

GHAZWUL SHAF. **Design and Development of Finger Movement Virtualization Technology Based on Myoelectric Signals Using Electromyography Sensors and Artificial Neural Network Algorithms** (supervised by Christoforus Yohannes)

Background. Virtual Reality (VR) is a technology that allows interaction with virtual realitation that is separate from the actual physical reality. The use of VR has penetrated into various fields, including the fields of medicine and health. However, in its use, there are limitations to the use of VR devices in patients with physical limitations. **Goal.** Building a system using the AD8232 sensor as an electromyography sensor to detect changes in finger movement and classify signals with the Artificial Neural Network algorithm. **Method.** There are 4 finger movement models that are modeled. Data collection is carried out with a sampling rate of 1000 Hz for 15 seconds for each movement model. The Faraday cage concept is used to avoid interference from other electromagnetic waves during data collection. Data collection is carried out six times with collection without or with a cage. The raw data of myoelectric signals are processed with six feature extraction methods. Classification model training goes through two main process stages, namely feedforward and backpropagation with a hidden layer (12 nodes). The accuracy level of the classification model is validated against the dataset and real-time data. **Results.** Data taken without a Faraday cage has a higher precision rate, which is 73.92% compared to data taken with a cage, which is 64.05%. However, data taken with a Faraday cage and random feature extraction has a higher stability rate compared to other data. **Conclusion.** The AD8232 sensor without modification can detect changes in finger movement based on the measured myoelectric signals. However, the influence of differences in sampling rate and refresh rate causes the design of a real-time finger movement model classification system to be impossible.

Keywords: Virtual Reality; AD8232; Faraday cage; feature extraction; sampling rate; refresh rate



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN, ISTILAH, DAN LAMBANG	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Manfaat	2
BAB II. METODE PENELITIAN	4
2.1. Desain Konsep	4
2.2. Prosedur Pelaksanaan	4
2.3. Rangkaian Alat	6
2.4. Desain Aplikasi VR	9
2.5. Pengambilan Data	10
2.6. Persiapan Data Latih	14
2.7. Pembelajaran Jaringan Saraf Tiruan (JST)	17
2.8. Uji Coba & Analisis	23
BAB III. HASIL PENELITIAN	25
3.1. Hasil Pengembangan Aplikasi VR	25
3.2. Hasil Pengambilan Data	26
3.3. Pemrosesan Data Latih	51
3.4. Hasil Persiapan Data Latih	54
3.5. Proses Pelatihan Model Klasifikasi JST	60
3.6. Hasil Pelatihan Model Klasifikasi JST	70
3.7. Uji Coba	72
BAB IV. PEMBAHASAN	73
BAB V. KESIMPULAN	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
.....	77



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
Tabel 1. Nilai konversi One Hot Encoder pada label data	17
Tabel 2. Fitur pada set data	17
Tabel 3. Label pada set data	18
Tabel 4. Pengaturan layar dan jumlah simpul	18
Tabel 5. Pengaturan parameter pelatihan	18
Tabel 6. Hasil pengkodean label data.....	54
Tabel 7. Hasil pelatihan model klasifikasi JST	71
Tabel 8. Rata-rata data hasil pelatihan model klasifikasi JST	71
Tabel 9. Simpangan baku data hasil pelatihan model klasifikasi JST	71



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
Gambar 1. Desain konsep sistem.....	4
Gambar 2. Prosedur pelaksanaan.....	4
Gambar 3. Skematik diagram papan sirkuit AD8232.....	6
Gambar 4. Elektroda EKG sekali pakai Life Resources.....	7
Gambar 5. ESP32 DevKit V1.....	7
Gambar 6. Oculus Quest.....	8
Gambar 7. Use case aplikasi VR.....	9
Gambar 8. Titik otot jari tangan pada lengan.....	11
Gambar 9. Titik peletakan elektroda pada lengan.....	12
Gambar 10. Sangkar Faraday.....	12
Gambar 11. Flowchart program pada mikrokontroler.....	13
Gambar 12. Algoritma pengacakan Fisher-Yates.....	16
Gambar 13. Struktur <i>neural network</i> pelatihan model.....	19
Gambar 14. Flowchart program pembacaan dan klasifikasi <i>realtime</i>	24
Gambar 15. Antarmuka utama aplikasi VR.....	25
Gambar 16. Tampilan aplikasi saat mengalami <i>stuck</i>	26
Gambar 17. Program Unity untuk mengakses pustaka BlueUnity.....	26
Gambar 18. Sinyal mentah sensor AD8232.....	27
Gambar 19. Grafik data mentah model jari telunjuk data 1 (1500 data pertama) ...	28
Gambar 20. Grafik data mentah model ibu jari data 1 (1500 data pertama).....	29
Gambar 21. Grafik data mentah model tangan tertutup data 1 (1500 data pertama)	30
Gambar 22. Grafik data mentah model tangan terbuka data 1 (1500 data pertama)	31
Gambar 23. Grafik data mentah model jari telunjuk data 2 (1500 data pertama) ...	32
Gambar 24. Grafik data mentah model ibu jari data 2 (1500 data pertama).....	33
Gambar 25. Grafik data mentah model tangan tertutup data 2 (1500 data pertama)	34
Gambar 26. Grafik data mentah model tangan terbuka data 2 (1500 data pertama)	35
Gambar 27. Grafik data mentah model jari telunjuk data 3 (1500 data pertama) ...	36
Gambar 28. Grafik data mentah model ibu jari data 3 (1500 data pertama).....	37
Gambar 29. Grafik data mentah model tangan tertutup data 3 (1500 data pertama)	38
Gambar 30. Grafik data mentah model tangan terbuka data 3 (1500 data pertama)	39
Gambar 31. Grafik data mentah model jari telunjuk data 4 (1500 data pertama) ...	40
Grafik data mentah model ibu jari data 4 (1500 data pertama).....	41
Grafik data mentah model tangan tertutup data 4 (1500 data pertama)	42
Grafik data mentah model tangan terbuka data 4 (1500 data pertama)	43
Grafik data mentah model jari telunjuk data 5 (1500 data pertama) ...	44
Grafik data mentah model ibu jari data 5 (1500 data pertama).....	45



Gambar 37. Grafik data mentah model tangan tertutup data 5 (1500 data pertama) 46

Gambar 38. Grafik data mentah model tangan terbuka data 5 (1500 data pertama) 47

Gambar 39. Grafik data mentah model jari telunjuk data 6 (1500 data pertama) ... 48

Gambar 40. Grafik data mentah model ibu jari data 6 (1500 data pertama) 49

Gambar 41. Grafik data mentah model tangan tertutup data 6 (1500 data pertama) 50

Gambar 42. Grafik data mentah model tangan terbuka data 6 (1500 data pertama) 51

Gambar 43. Klasifikasi model gerak jari tangan secara *realtime*..... 72



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Program Pembacaan Data Sensor dan Pengiriman Data Bluetooth pada Mikrokontroler	77
2. Program Pembacaan Data Bluetooth pada Aplikasi VR	80
3. Program Ekstraksi Fitur	81
4. Program Pemrosesan Data dengan Ekstraksi Fitur	85
5. Program Pengacakan	88
6. Program Pengkodean Label	88
7. Program Fungsi Aktivasi	90
8. Program Fungsi Cost/Loss	91
9. Program Fungsi Optimasi Neural Network	92
10. Program Pelatihan Model Klasifikasi JST	94
11. Program Prediksi Data Secara Realtime	101
12. Buku Pedoman (Manual Book)	102



DAFTAR SINGKATAN, ISTILAH, DAN LAMBANG

Lambang/singkatan	Arti dan penjelasan
VR	<i>Virtual Reality</i>
EMG	Elektromiografi
EKG	Elektrokardiografi
JST	Jaringan Saraf Tiruan
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
FDS	<i>Flexor digitorum superficialis</i>
AAR	Android Archive Library
ME	Mean
RMS	Root Mean Square
SSC	Slope Sign Change
SSI	Simple Square Integral
VAR	Variance
WL	Waveform Length



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi telah menjadi langkah besar dalam evolusi manusia, mengubah cara hidup, bekerja, berkomunikasi dan berinteraksi dengan dunia sekitar. Sejak awal peradaban manusia, teknologi telah menjadi pendorong utama kemajuan, memberikan solusi terhadap permasalahan sulit dan membantu mengatasi hambatan yang sebelumnya tidak dapat diatasi.

Selama dekade terakhir, kita telah melihat peningkatan pesat dalam perkembangan teknologi. Inovasi-inovasi baru terus bermunculan yang mengubah lanskap sosial, ekonomi, dan budaya. Perkembangan ini mencakup banyak bidang, mulai dari kecerdasan buatan dan komputasi kuantum hingga teknologi medis dan kendaraan otonom. Teknologi saat ini memungkinkan kita berkomunikasi dengan semua orang di seluruh dunia dalam hitungan detik, mengakses informasi global dengan cepat, dan memecahkan masalah yang sebelumnya dianggap tidak dapat diatasi.

Virtual Reality (VR) merupakan bentuk inovasi teknologi yang mengubah paradigma interaksi dengan dunia digital. Seiring waktu, VR telah berevolusi dari sekadar eksperimen konseptual menjadi teknologi yang mendalam dan ada di mana-mana dalam banyak aspek kehidupan kita. Berkat kemampuannya dalam menciptakan pengalaman yang imersif dan interaktif, VR telah memasuki berbagai bidang, mulai dari hiburan hingga pendidikan, perawatan kesehatan, bisnis, dan militer.

Penggunaan headset dan pengontrol VR yang semakin canggih telah membawa kita ke dunia virtual yang lebih realistis dan mendalam. Teknologi ini telah memberikan pengalaman yang tak terbayangkan sebelumnya yang memungkinkan kita menjelajahi tempat-tempat terpencil, berolahraga di lingkungan yang aman, atau bahkan menghidupkan kembali momen-momen bersejarah.

Meskipun perkembangan teknologi VR telah merevolusi pengalaman pengguna, keberlanjutan dan keterlibatannya masih menjadi kendala utama. Penggunaan headset VR sebagai salah satu elemen utama teknologi ini dapat menjadi penghalang bagi orang-orang yang memiliki masalah kesehatan fisik atau mental. Hal ini menciptakan aksesibilitas dan membatasi potensi manfaat teknologi VR bagi mereka yang membutuhkan terapi virtual, pelatihan keterampilan, atau



khusus. Beberapa penelitian merujuk pada keterbatasan alat
atic Review and Meta-Analysis of the Effects of Virtual Reality-
on Parkinson's Disease" yang ditulis oleh Sun-Ho Kwon, Jae
ng Ho Koh dan "A Systematic Review of Randomized Controlled
ty Applications in Pediatric Patient" oleh Ashish Varma, Waqar
a, Samana Syed, Sumit Thakur, Sakshi P Arora, Anuj R Varma
menjelaskan keterbatasan penggunaan pengontrol VR. Oleh

karena itu, diperlukan penelitian dan inovasi lebih lanjut untuk mengatasi tantangan teknis dan medis tersebut, sehingga pengembangan teknologi VR dapat mempertimbangkan keberagaman kondisi kesehatan dan memberikan dampak positif bagi masyarakat secara keseluruhan.

Dengan memanfaatkan sinyal mioelektrik atau EMG (Elektromiografi), penulis merancang sebuah “Rancang Bangun Teknologi Virtualisasi Pergerakan Jari Tangan Berbasis Sinyal Mioelektrik Menggunakan Sensor Elektromiografi dan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan”.

Elektromiografi adalah prosedur pemeriksaan yang dilakukan untuk mengukur aktivitas listrik otot beserta saraf yang mengendalikannya (Lim et al., 2022). Elektromiografi dilakukan dengan menggunakan semacam alat pendeteksi aktivitas otot, sebuah elektroda yang terhubung dengan mesin EMG. Salah satu sensor yang dapat digunakan sebagai sensor EMG adalah sensor AD8232 yang dirancang oleh Analog Devices, Inc. Diterjemahkan dari Analog Devices, Inc., AD8232 adalah blok pengkondisian sinyal terintegrasi untuk EKG dan aplikasi pengukuran biopotensial lainnya (Analog Devices, 2012). Meskipun sensor AD8232 dirancang khusus untuk memantau sinyal elektrokardiografi (EKG) dari jantung, AD8232 juga dapat digunakan untuk mendeteksi kontraksi otot di tubuh, terutama pada aplikasi yang melibatkan elektromiografi (EMG).

Sinyal EMG sampel perlu disaring untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan. Sinyal EMG yang khas memiliki frekuensi antara 0-500Hz (Shaw & Bhaga, 2012) dan frekuensi diketahui menurun seiring dengan kelelahan otot (Jayaweera, 2021). Oleh karena itu, digunakan algoritma klasifikasi *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) – dalam bahasa Indonesia untuk memfilterisasi dan mengklasifikasikan sinyal EMG berdasarkan model klasifikasi. Dari penelitian yang dilakukan oleh Jayaweera, dengan menggunakan sensor AD8232 untuk mengklasifikasikan sinyal EMG terkait model jari tangan, pengklasifikasi ANN ditentukan sebagai pengklasifikasi terbaik berdasarkan akurasi, ukuran, dan penundaan prediksi untuk setiap ukuran jendela. Akurasi maksimum pengklasifikasi ANN *feed-forward* adalah $\approx 87\%$ dengan ukuran jendela 300 milidetik (Jayaweera, 2021).

1.2. Tujuan dan Manfaat

1.2.1. Rumusan Masalah



1. Bagaimana AD8232 dapat mendeteksi perubahan gerakan jari tangan dari sinyal mioelektrik yang dihasilkan oleh otot terkait jari tangan?
 2. Bagaimana mengklasifikasikan data sinyal mioelektrik yang didapat dari sensor AD8232 secara nyata dengan menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan pada aplikasi Virtual Reality?

1.2.2. Tujuan

1. Menggunakan sensor AD8232 sebagai sensor EMG untuk mendeteksi perubahan gerakan jari tangan berdasarkan sinyal mioelektrik yang dihasilkan oleh otot terkait jari tangan.
2. Mengklasifikasikan sinyal mioelektrik yang didapat dari sensor AD8232 berdasarkan waktu nyata dengan menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) pada aplikasi Virtual Reality.

1.2.3. Manfaat

1. Meningkatkan pemahaman tentang aplikasi sinyal mioelektrik untuk mendeteksi perubahan gerakan jari tangan dan pemanfaatannya pada teknologi *Virtual Reality* (VR) untuk digunakan oleh pasien rehabilitasi.
2. Membuka peluang untuk menciptakan antarmuka Virtual Reality yang dapat diaktifkan oleh gerakan jari dengan tingkat presisi yang tinggi.

