Rancang Sistem Pemetaan Kemiringan Jalan Menggunakan Data Elevasi dari GPS dan Gyroscope

Development of a Real-Time Road Slope Mapping System Using Elevation Data from GPS and Gyroscope Sensors

Reza Andika[1], Apriyana Munir[2], Hakzah Hakzah[3], Muh. Basri[4]
[1,2,4]*Departement of Electrical Engineering, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia*
Jl. Jend Ahmad Yani Km. 6 Parepare, (+62) 8534362 5152
[3]*Departement of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia*
Jl. Jend Ahmad Yani Km. 6 Parepare, (+62) 8534362 5152
reza.andka1@gmail.com[1*], apriyanamunir04@gmail.com[2], hakzahs@gmail.com[3], muhbasri7375@gmail.com[4]

Abstrak – *Pengukuran kemiringan jalan secara akurat sangat penting dalam perencanaan infrastruktur transportasi, terutama di wilayah dengan topografi kompleks. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem pemetaan kemiringan jalan secara real-time menggunakan modul GPS Neo-6M dan sensor gyroscope MPU6050 yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino. Modul GPS digunakan untuk memperoleh data koordinat dan elevasi, sedangkan sensor gyroscope mengukur sudut kemiringan (pitch) lintasan jalan. Sistem dilengkapi dengan dua tombol input sebagai kontrol, serta menampilkan hasil pengukuran melalui layar TFT LCD 2,4 inci. Berdasarkan hasil uji lapangan, sistem menunjukkan tingkat kesalahan kurang dari 3% jika dibandingkan dengan metode pengukuran manual. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan merupakan solusi praktis, efisien, dan portabel untuk kebutuhan survei kemiringan jalan secara langsung di lapangan.*

Kata Kunci*: Pemetaan Kemiringan Jalan; GPS Neo-6M; Sensor Gyroscope; Arduino; Sistem Real-Time; Mikrokontroler*

Abstract – *Accurate road slope measurement is critical for transportation infrastructure planning, especially in areas with complex topography. This study presents the development and implementation of a real-time road slope mapping system using the GPS Neo-6M module and MPU6050 gyroscope sensor, integrated with Arduino-based microcontrollers. The GPS module provides coordinate and elevation data, while the gyroscope sensor measures road inclination (pitch). The system is controlled via two input buttons and displays output on a 2.4-inch TFT LCD. Field experiments demonstrate that the system achieves a measurement error of less than 3% compared to conventional manual methods. These results indicate that the proposed system is a practical, cost-effective, and portable solution for direct road slope surveys in the field.*

Keywords*: Road Slope Mapping; GPS Neo-6M; Gyroscope Sensor; Arduino; Real-Time System; Microcontroller*

1. Pendahuluan

Pemetaan kemiringan jalan (road slope mapping) merupakan salah satu komponen krusial dalam desain dan evaluasi infrastruktur transportasi. Gradien jalan yang tidak sesuai dengan standar geometrik dapat meningkatkan risiko kecelakaan, mempercepat kerusakan struktural, serta memengaruhi konsumsi energi kendaraan bermotor. Oleh karena itu, pengukuran sudut kemiringan yang akurat dan efisien diperlukan sebagai dasar dalam perencanaan, pemantauan, dan pemeliharaan jalan, baik di lingkungan perkotaan maupun daerah terpencil [1], [2].

Secara konvensional, pengukuran kemiringan jalan dilakukan secara manual dengan menggunakan inclinometer atau alat ukur elevasi berbasis altimeter. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dari sisi efisiensi waktu, rentang cakupan, dan potensi human error yang tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan berbasis citra digital dan pemrosesan visual telah dikembangkan menggunakan sistem fusi GNSS/INS (Global Navigation Satellite System dan Inertial Navigation System) untuk estimasi kemiringan jalan secara real-time, dan berhasil menurunkan tingkat error hingga di bawah 0,3°[1]. Di sisi lain, metode berbasis smartphone crowdsourcing menggabungkan sensor GPS, gyroscope, dan akselerometer untuk memperkirakan gradien jalan dengan akurasi tinggi, namun masih terbatas pada aplikasi kendaraan dengan kecepatan stabil dan bergantung pada kondisi lingkungan sekitar. [2]

Kemajuan dalam teknologi sensor dan mikrokontroler telah membuka peluang untuk mengembangkan sistem pengukuran kemiringan yang lebih sederhana, portabel, dan hemat biaya. Sensor gyroscope seperti MPU6050 dapat digunakan untuk mengukur sudut pitch kendaraan secara kontinu, sedangkan modul GPS seperti Neo-6M mampu menyediakan data posisi dan elevasi secara real-time. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa penggabungan data dari sensor GPS dan IMU (Inertial Measurement Unit) dengan metode filtering seperti Kalman atau Unscented Kalman Filter dapat meningkatkan kestabilan dan akurasi pengukuran [3], [4]. Sistem berbasis mikrokontroler juga memungkinkan pengolahan data secara langsung tanpa memerlukan komputer eksternal atau konektivitas jaringan, menjadikannya cocok untuk aplikasi lapangan di daerah yang minim infrastruktur.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemetaan kemiringan jalan real-time berbasis Arduino dengan integrasi sensor GPS dan gyroscope. Sistem yang dikembangkan dirancang agar dapat mengukur elevasi dan sudut kemiringan secara langsung di lokasi survei, dan menampilkannya secara instan melalui antarmuka layar TFT. Data yang dihasilkan mencakup koordinat awal dan akhir, elevasi masing-masing titik, jarak horizontal, serta sudut kemiringan rata-rata. Algoritma perhitungan menggunakan rumus Haversine untuk menghitung jarak antar titik koordinat, serta rata-rata sudut pitch untuk mengestimasi kemiringan.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi antara GPS dan gyroscope dalam satu perangkat mikrokontroler tanpa ketergantungan pada pemrosesan visual atau sistem spasial kompleks. Sistem ini bersifat portabel, mudah dioperasikan, dan dapat memberikan hasil real-time dengan tingkat kesalahan di bawah 3%, sebagaimana ditunjukkan dalam pengujian lapangan. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi alternatif yang efisien untuk survei geospasial kemiringan jalan, terutama di wilayah yang belum terjangkau teknologi pemetaan modern [5].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pemetaan kemiringan jalan secara real-time berbasis mikrokontroler Arduino yang mengintegrasikan modul GPS Neo-6M dan sensor gyroscope MPU6050. Sistem ini dirancang untuk mengakuisisi data posisi dan elevasi dari GPS serta data sudut kemiringan (pitch) dari gyroscope secara simultan, kemudian mengolah dan menampilkan hasil pengukuran melalui layar TFT LCD 2,4 inci.

2.1. Desain Sistem

Perangkat keras utama terdiri dari dua mikrokontroler Arduino, yaitu Arduino Nano sebagai pengumpul data sensor GPS dan gyroscope, serta Arduino Uno yang bertugas mengolah data dan mengendalikan tampilan pada LCD. Modul GPS Neo-6M digunakan untuk memperoleh data koordinat lintang, bujur, dan elevasi secara real-time, sedangkan sensor MPU6050 mengukur sudut pitch kendaraan sebagai representasi kemiringan jalan [6], [7].

Sistem juga dilengkapi dengan dua push button yang berfungsi sebagai input kontrol untuk memulai dan menghentikan proses pengukuran, sehingga pengoperasian dapat dilakukan secara manual dan fleksibel sesuai kebutuhan lapangan.



Gambar 1. Desain Perangkat Pemetaan Kemiringan Jalan.

2.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini diawali dengan tahap perancangan sistem, yang mencakup perancangan skema sambungan antara komponen utama, yaitu modul GPS Neo-6M, sensor gyroscope MPU6050, Arduino Nano, dan Arduino Uno. Tahap ini dilanjutkan dengan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk mengakuisisi data koordinat geografis dan elevasi dari GPS serta sudut kemiringan (pitch) dari sensor MPU6050 secara real-time [1], [2]. Seluruh komponen dirakit menjadi satu perangkat portabel agar dapat digunakan langsung di lapangan dengan efisien [8].

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data di lapangan. Proses diawali dengan menekan tombol pertama untuk memulai proses akuisisi data awal, yang mencakup pembacaan koordinat awal dan memulai mencatat sudut pitch. Setelah perangkat bergerak ke lokasi lain, tombol pertama kembali ditekan untuk merekam koordinat akhir dan menghentikan pencatatan sudut pitch. Proses ini dilakukan secara manual oleh pengguna untuk memastikan titik awal dan akhir akurat sesuai lintasan pengujian.

Setelah data terkumpul, pengguna dapat menekan tombol kedua untuk melihat hasil pengukuran. Sistem secara otomatis menghitung jarak antara dua titik menggunakan rumus Haversine, yang telah terbukti efektif dalam menghitung jarak antar koordinat geografis [9]. Sementara itu, sudut kemiringan rata-rata dihitung dari seluruh data pitch yang direkam selama pergerakan, dengan menggunakan metode rata-rata bergerak untuk mengurangi noise sensor [10].

Tahap terakhir adalah pengujian dan validasi sistem. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat terhadap hasil pengukuran manual menggunakan clinometer digital dan referensi peta elevasi seperti Google Earth. Uji coba dilakukan di

ISSN (e): 2540-9123
ISSN (p): 2502-1982

beberapa ruas jalan dengan kontur yang bervariasi untuk mengukur akurasi, konsistensi, dan keandalan sistem dalam kondisi nyata [6], [7]. Selanjutnya, dilakukan perhitungan persentase kesalahan antara hasil sistem dan pengukuran referensi sebagai bagian dari evaluasi kinerja perangkat yang dikembangkan



Gambar 2. Teknik Pengambilan Data.

2.3. Metode Pengujian

Metode pengujian dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan akurasi sistem pemetaan kemiringan jalan yang dirancang. Pengujian dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu validasi hasil pengukuran dan analisis tingkat akurasi.

2.3.1 Validasi Hasil Pengukuran

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari alat dengan data pengukuran manual. Untuk jarak, digunakan pengukuran menggunakan meteran, sedangkan sudut kemiringan dibandingkan dengan pengukuran dari digital inclinometer sebagai alat referensi. Pengujian ini dilakukan pada beberapa ruas jalan dengan karakteristik kemiringan yang bervariasi guna menguji keandalan sistem di berbagai kondisi medan.

2.3.2 Analisis Akurasi dan Tingkat Kesalahan

Akurasi sistem dievaluasi menggunakan persentase kesalahan absolut terhadap hasil pengukuran manual. Rumus yang digunakan adalah:

$$Tingkat\ kesalahan = \frac{|nilai\ pengukuran\ manual - nilai\ sistem|}{nilai\ pengukuran\ manual} \times 100\%$$

Rumus ini mengacu pada pendekatan evaluasi kuantitatif instrumen pengukuran [13].

2.3.3 Perhitungan Jarak (Haversine Formula)

Jarak antar dua titik koordinat geografis dihitung menggunakan rumus Haversine:

$$\mathrm{d} = 2\mathrm{R} \cdot \arcsin\left(\sqrt{sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi 1\quad) \cdot \cos(\phi 2\quad) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right)$$

Rumus ini digunakan karena memperhitungkan kelengkungan bumi, sehingga lebih akurat dalam penghitungan jarak antara dua titik geografis [14].

2.3.4 Perhitungan Sudut Kemiringan Jalan

Sudut kemiringan dihitung menggunakan prinsip dasar trigonometri:

$$tan(\theta) = \frac{\Delta h}{d} \quad \Rightarrow \quad \theta = tan^{-1}\left(\frac{\Delta h}{d}\right)$$

Pendekatan ini umum digunakan dalam analisis topografi dan pemodelan geospasial [15].

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil dari implementasi dan pengujian sistem pemetaan kemiringan jalan berbasis GPS dan sensor gyroscope, serta dilengkapi dengan diskusi mengenai keandalan dan akurasi sistem yang dikembangkan.

3.1. Desain Sistem Perangkat

Perancangan sistem dimulai dengan integrasi beberapa komponen utama, yaitu GPS Neo-6M, sensor MPU6050, Arduino Nano, dan Arduino Uno. GPS digunakan untuk memperoleh koordinat lokasi (lintang dan bujur), sementara sensor MPU6050 merekam nilai sudut pitch sebagai representasi kemiringan jalan. Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama tampilan data pada LCD TFT, sedangkan Arduino Nano berfungsi sebagai pengakuisisi data sensor.

Antarmuka perangkat disusun menjadi satu kesatuan sistem yang portabel, memudahkan mobilitas saat pengujian lapangan. Tombol kendali ditambahkan untuk menginisiasi dan menghentikan proses pengambilan data, serta menampilkan hasil pengukuran.



Gambar 2. Hasil Perancangan Sistem.

3.2. Implementasi dan Pengujian Lapangan

Sistem diuji pada lintasan jalan menanjak sejauh ±120 meter. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata. Berikut adalah hasil pengukuran:

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Pemetaan Kemiringan Jalan

Pengujian	Jarak (meter)	Sudut Kemiringan (°)
Uji 1	115,23	8,25
Uji 2	120,36	8,23
Uji 3	120,91	7,74
Rata-rata	**118,83**	**8,07**

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh rata-rata jarak 118,83 meter dan rata-rata sudut kemiringan 8,07**°.** Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat mengukur jarak lintasan dengan akurasi yang konsisten, serta menghasilkan data sudut kemiringan yang relatif stabil.

Variasi antara pengujian pertama, kedua, dan ketiga masih berada dalam batas toleransi kesalahan rendah, mengindikasikan bahwa sistem bekerja dengan baik untuk aplikasi pengukuran kemiringan jalan secara real-time.

3.3. Analisis Akurasi Sistem

Hasil pengukuran manual menggunakan altimeter diperoleh hasil jarak sepanjang 117, 29 meter dan sudut kemiringan sebesar 7,84. Untuk mengevaluasi akurasi sistem, hasil pengukuran dibandingkan dengan metode manual menggunakan rumus persentase kesalahan absolut:

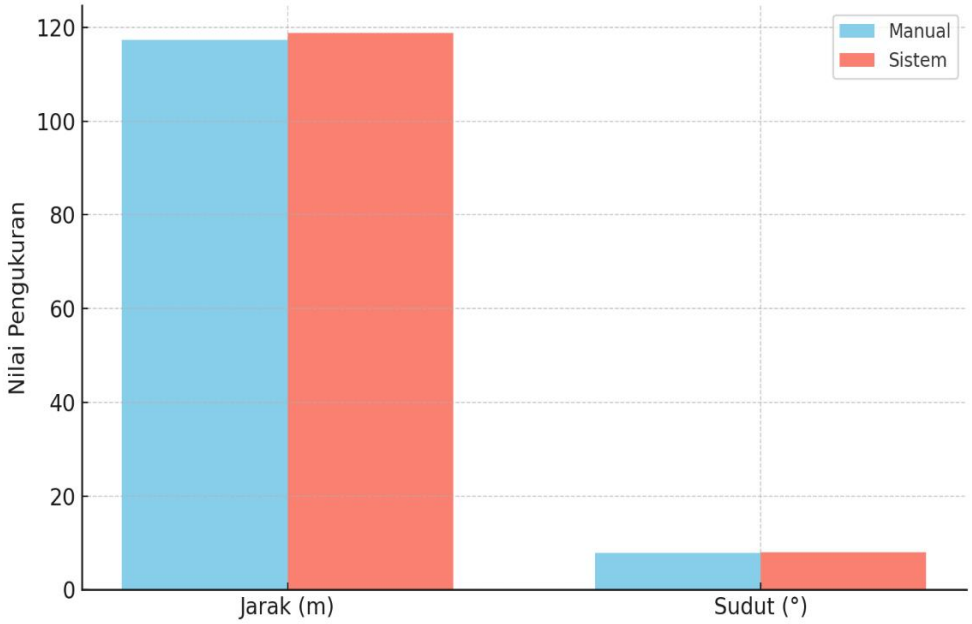
Kesalahan jarak:

$$Tingkat\ kesalahan = \frac{|117{,}29 - 118{,}83|}{117{,}29} \times 100\% \approx 1{,}31\%$$

Kesalahan sudut:

$$Tingkat\ kesalahan = \frac{|7{,}84 - 8{,}07|}{7{,}84} \times 100\% \approx 2{,}93\%$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran jarak adalah 1,31%, sedangkan pada pengukuran sudut kemiringan adalah 2,93%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik dalam mendeteksi perubahan kemiringan jalan secara real-time, dengan deviasi yang masih dalam batas toleransi untuk sistem pengukuran lapangan sederhana.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran Manual dan Sistem

Grafik menunjukkan bahwa nilai pengukuran yang diperoleh dari sistem otomatis sangat mendekati hasil pengukuran manual, dengan selisih yang kecil dan konsisten. Ini menandakan bahwa sistem memiliki akurasi tinggi, serta dapat dijadikan alternatif yang lebih efisien dan praktis untuk pemetaan kemiringan jalan di lapangan.

3.4. Pembahasan Komparatif

Keunggulan sistem ini dibandingkan metode manual terletak pada efisiensi waktu, akurasi yang cukup stabil, serta kemampuan pemetaan dinamis berdasarkan posisi GPS. Selain itu, penggunaan sensor IMU yang dikalibrasi dan integrasi data pitch memberikan estimasi elevasi yang cukup representatif terhadap kondisi jalan.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan, seperti sensitivitas GPS terhadap lingkungan tertutup dan potensi drift pada sensor gyroscope jika tidak dilakukan rekalibrasi secara berkala. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada penerapan metode filtering data (misalnya Kalman Filter) untuk meningkatkan kestabilan data gyroscope.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemetaan kemiringan jalan menggunakan data elevasi dari GPS Neo-6M dan sudut kemiringan dari sensor gyroscope MPU6050. Sistem bekerja secara *real-time* dan mampu mengukur serta menampilkan data koordinat awal dan akhir, jarak tempuh, serta sudut kemiringan jalan secara langsung melalui LCD TFT. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak tiga kali pada lintasan jalan menanjak, sistem menunjukkan hasil yang sangat mendekati pengukuran manual, dengan tingkat kesalahan di bawah 3% untuk jarak dan sudut kemiringan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang baik dan dapat diandalkan.

Selain akurat, sistem ini juga bersifat portabel, mudah dioperasikan, dan efisien dalam hal waktu dan tenaga dibandingkan metode pengukuran manual. Dibandingkan dengan pendekatan citra digital pada penelitian sebelumnya, sistem ini memberikan keunggulan dari segi kesederhanaan, kecepatan, serta kemampuan pengukuran di titik spesifik yang dapat ditentukan oleh pengguna. Dengan demikian, sistem ini terbukti layak digunakan dalam kegiatan survei jalan secara praktis, dan memiliki potensi untuk diterapkan dalam mendukung perencanaan infrastruktur transportasi yang lebih baik, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan di lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Muhammadiyah Parepare atas dukungan fasilitas laboratorium dan bimbingan akademik selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan ilmiah, serta motivasi dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis juga menghargai kontribusi semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung, termasuk rekan mahasiswa yang turut membantu dalam proses pengujian alat di lapangan. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem pemetaan geospasial berbasis teknologi mikrokontroler di masa mendatang.

Referensi

[1] M. Chen, L. Xiong, and L. Gao, “Real-time road slope estimation based on GNSS/INS fusion system considering slope change,” SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility, Vol. 6, No. 5, pp. 2628–2637, 2024.

[2] A. Gupta, J. Liu, P. Zhang, and A. Goel, “Road grade estimation using crowd-sourced smartphone data,” in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Sydney, Australia, Apr. 2020, pp. 111–122.

[3] J. Liu, Y. Zhang, and M. Zhao, “The key technologies of road elevation detection based on sensor fusion,” Sensors, Vol. 22, No. 15, pp. 1–17, 2022.

[4] Y. Alaba, “GPS-IMU sensor fusion for reliable autonomous vehicle position estimation,” arXiv preprint, arXiv:2405.08119, May 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2405.08119 [Accessed: Jul. 21, 2025].

[5] C. Chi, R. Jiang, and H. Yang, “GICI-LIB: A GNSS/INS/Camera integrated navigation library,” arXiv preprint, arXiv:2306.13268, Jun. 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2306.13268 [Accessed: Jul. 21, 2025].

[6] S. Ahmad, A. H. Basari, and R. Abdullah, "Design of a GPS and MPU6050 based portable road slope monitoring system," Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 15, No. 10, pp. 235–240, 2020.
[7] R. G. Gupta and M. P. Sharma, "Development of Arduino-based data acquisition system for mobile monitoring applications," IEEE Sensors Letters, Vol. 6, No. 2, pp. 1–4, 2022.
[8] S. Kim and J. Park, "Portable and real-time road gradient mapping system using MEMS and GNSS," Sensors, Vol. 21, No. 5, pp. 1–12, 2021.
[9] P. Misra and P. Enge, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, 2nd ed. Lincoln, MA, USA: Ganga-Jamuna Press, 2018.
[10] M. S. Islam, M. H. Kabir, and F. Rahman, "Sensor fusion approach for slope estimation using gyroscope and GPS data," Measurement, Vol. 183, p. 109117, 2021.
[11] L. Wicaksono, R. P. Adi, and T. Widyastono, "Validasi alat ukur kemiringan jalan menggunakan clinometer digital," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, Vol. 10, No. 3, pp. 150–157, 2022.
[12] Google, "Google Earth Elevation API documentation," 2025. [Online]. Available: https://developers.google.com/earth [Accessed: Jul. 21, 2025].
[13] Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2019.
[14] J. P. Snyder, Map Projections: A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, 1987.
[15] Z. Li, Q. Zhu, and C. Gold, Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2004.