

GeoAI dengan Python

*Panduan Praktis untuk AI
Geospasial Open Source*



Qiusheng Wu

GeoAI dengan Python

Panduan Praktis Kecerdasan Buatan Geospasial
Open-Source

Qiusheng Wu
2026

Contents

Kata Pengantar	1
Pendahuluan	3
Untuk Siapa Buku Ini	4
Apa yang Dibahas Buku Ini	5
Mendapatkan Hasil Maksimal dari Buku Ini	8
Konvensi yang Digunakan dalam Buku Ini	9
Mengunduh Contoh Kode	9
Tutorial Video	10
Komunitas dan Umpan Balik	10
Tentang Penulis	11
Lisensi dan Hak Cipta	11
I: Fondasi	13
1. Pengantar GeoAI	15
1.1. Pendahuluan	15
1.2. Tujuan Pembelajaran	16
1.3. Apa itu GeoAI?	16
1.4. Aplikasi Utama GeoAI	18
1.5. Ekosistem Python untuk GeoAI	22
1.6. Tugas AI Inti dalam Analisis Geospasial	24
1.7. Dari Metode Tradisional ke Model Fondasi	31
1.8. Poin-Poin Utama	32
1.9. Latihan	33
2. Menyiapkan Lingkungan Anda	35
2.1. Pendahuluan	35
2.2. Tujuan Pembelajaran	35
2.3. Persyaratan Perangkat Keras	35
2.4. Menginstal Driver NVIDIA	36
2.5. Menginstal Python dengan Miniconda	39
2.6. Membuat Lingkungan Conda	40
2.7. Menginstal GeoAI dan PyTorch dengan Dukungan GPU	41
2.8. Menginstal uv sebagai Manajer Paket Alternatif	42
2.9. Menyiapkan Jupyter	43
2.10. Menginstal Visual Studio Code	45
2.11. Memverifikasi Pengaturan Anda	46
2.12. Latihan	47
3. Dasar-Dasar Data Geospasial	49
3.1. Pendahuluan	49
3.2. Tujuan Pembelajaran	49
3.3. Data Raster	49
3.4. Data Vektor	53
3.5. Sistem Referensi Koordinat	56
3.6. Format Anotasi untuk Deep Learning	57
3.7. Pemotongan dan Chip Citra	59
3.8. Poin-Poin Utama	60
3.9. Latihan	60

II: Akuisisi dan Persiapan Data	63
4. Mengunduh Data Penginderaan Jauh	65
4.1. Pendahuluan	65
4.2. Tujuan Pembelajaran	65
4.3. Sumber Citra Satelit	65
4.4. Pencarian dengan STAC	67
4.5. Mengunduh Citra NAIP	72
4.6. Mengunduh Data Sentinel-2	74
4.7. Mengunduh Data Landsat	75
4.8. Mengunduh Data Terbuka Vantor	77
4.9. Mengakses Data Vektor	77
4.10. Mengorganisasi Data Anda	80
4.11. Poin-Poin Penting	80
4.12. Latihan	81
5. Pemetaan Interaktif dan Visualisasi	83
5.1. Pendahuluan	83
5.2. Tujuan Pembelajaran	83
5.3. Membuat Peta Interaktif dengan Leafmap	84
5.4. Bekerja dengan Data Raster pada Peta	85
5.5. Memvisualisasikan Data dari Planetary Computer	88
5.6. Bekerja dengan Data Vektor pada Peta	92
5.7. Peta Panel Terpisah untuk Perbandingan	94
5.8. Memvisualisasikan Hasil Model	95
5.9. Praktik Terbaik untuk Visualisasi GeoAI	97
5.10. Poin-Poin Penting	98
5.11. Latihan	98
6. Membuat Data Pelatihan	101
6.1. Pendahuluan	101
6.2. Tujuan Pembelajaran	101
6.3. Pipeline Data Pelatihan	101
6.4. Menghasilkan Chip Citra dari Citra Tunggal	102
6.5. Pemrosesan Batch Banyak Citra	106
6.6. Pemrosesan Batch dengan Mask Raster	110
6.7. Pertimbangan Kualitas Label	111
6.8. Organisasi Dataset	111
6.9. Ringkasan	113
6.10. Poin-Poin Penting	113
6.11. Latihan	114
III: Tugas AI Inti	115
7. Pengenalan Citra	117
7.1. Pendahuluan	117
7.2. Tujuan Pembelajaran	117
7.3. Memahami Klasifikasi Citra	118
7.4. Arsitektur Klasifikasi	119
7.5. Menyiapkan Data untuk Klasifikasi	120
7.6. Mengimpor Library	121
7.7. Mengunduh Dataset EuroSAT RGB	122
7.8. Menjelajahi Dataset	122

7.9.	Melatih Pengklasifikasi ResNet-50	124
7.10.	Memplot Riwayat Pelatihan	125
7.11.	Evaluasi pada Set Uji	125
7.12.	Memplot Confusion Matrix	126
7.13.	Memvisualisasikan Prediksi	128
7.14.	Melatih Pengklasifikasi EfficientNet-B0	129
7.15.	Membandingkan Hasil	131
7.16.	Mempublikasikan dan Menggunakan Kembali Model	131
7.17.	Poin-Poin Penting	133
7.18.	Latihan	133
8.	Deteksi Objek	135
8.1.	Pendahuluan	135
8.2.	Tujuan Pembelajaran	135
8.3.	Memahami Deteksi Objek	136
8.4.	Arsitektur Deteksi	137
8.5.	Menyiapkan Dataset Deteksi	140
8.6.	Mengevaluasi Hasil Deteksi	140
8.7.	Mengimpor Library	141
8.8.	Mengunduh Dataset NWPU-VHR-10	142
8.9.	Mengeksplorasi Dataset	142
8.10.	Menyiapkan Dataset	143
8.11.	Memvisualisasikan Contoh Anotasi	143
8.12.	Melatih Model Deteksi Multi-Kelas	144
8.13.	Memplot Metrik Pelatihan	145
8.14.	Evaluasi dengan Metrik COCO	146
8.15.	Menjalankan Inferensi pada Contoh Citra	146
8.16.	Memvisualisasikan Deteksi	147
8.17.	Inferensi Batch pada Beberapa Citra	148
8.18.	Mempublikasikan dan Menggunakan Kembali Model	149
8.19.	Poin-Poin Penting	151
8.20.	Latihan	152
9.	Segmentasi Semantik	155
9.1.	Pendahuluan	155
9.2.	Tujuan Pembelajaran	155
9.3.	Dasar-Dasar Segmentasi Semantik	156
9.4.	Impor Library	158
9.5.	Deteksi Bangunan dari Citra Udara	158
9.6.	Pemetaan Air Permukaan	164
9.7.	Deteksi Awan dan Bayangan Awan	187
9.8.	Klasifikasi Tutupan Lahan	194
9.9.	Publikasi dan Penggunaan Ulang Model	198
9.10.	Poin-Poin Penting	199
9.11.	Latihan	200
10.	Segmentasi Instansi	203
10.1.	Pendahuluan	203
10.2.	Tujuan Pembelajaran	203
10.3.	Segmentasi Instansi vs. Segmentasi Semantik	204
10.4.	Arsitektur Mask R-CNN	204

10.5.	Mengunduh Dataset FTW	206
10.6.	Menyiapkan Data Pelatihan	208
10.7.	Melatih Model Mask R-CNN	208
10.8.	Menjalankan Inferensi	210
10.9.	Pasca-Pemrosesan Prediksi	211
10.10.	Mengekstrak Properti Geometrik	214
10.11.	Pemrosesan Batch	216
10.12.	Poin-Poin Penting	216
10.13.	Latihan	217
11.	<i>Translasi Citra</i>	219
11.1.	Pendahuluan	219
11.2.	Tujuan Pembelajaran	219
11.3.	Dasar-Dasar Translasi Citra	220
11.4.	Mengimpor Library	222
11.5.	Mengunduh Data Contoh	222
11.6.	Memvisualisasikan Komposit RGB Input	223
11.7.	Super-Resolusi Patch Tunggal	224
11.8.	Estimasi Ketidakpastian	225
11.9.	Inferensi Bertile untuk Wilayah yang Lebih Besar	227
11.10.	Keterbatasan dan Peringatan	229
11.11.	Poin-Poin Penting	230
11.12.	Latihan	231
12.	<i>Deteksi Perubahan</i>	233
12.1.	Pendahuluan	233
12.2.	Tujuan Pembelajaran	233
12.3.	Memahami Deteksi Perubahan	234
12.4.	Metode Deteksi Perubahan Tradisional	235
12.5.	Deep Learning untuk Deteksi Perubahan	237
12.6.	Impor Library	238
12.7.	Daftar Model yang Tersedia	239
12.8.	Pengaturan	239
12.9.	Unduh Data Sampel	239
12.10.	Visualisasi Citra Input	240
12.11.	Inisialisasi Model ChangeStar	240
12.12.	Jalankan Deteksi Perubahan	240
12.13.	Visualisasi Hasil	241
12.14.	Menggunakan Fungsi Kemudahan	243
12.15.	Membandingkan Varian Model	243
12.16.	Menyesuaikan Threshold	244
12.17.	Lihat Output yang Disimpan	245
12.18.	Poin-Poin Penting	246
12.19.	Latihan	247
13.	<i>Regresi Tingkat Piksel</i>	249
13.1.	Pendahuluan	249
13.2.	Tujuan Pembelajaran	249
13.3.	Memahami Regresi Piksel	249
13.4.	Arsitektur Regresi	251
13.5.	Studi Kasus: Prediksi NDVI dari Citra Landsat	252

13.6. Metrik Evaluasi	257
13.7. Poin-Poin Penting	258
13.8. Latihan	258
IV: Model Fondasi dan Embedding Satelit	261
14. Segment Anything untuk Geospasial	263
14.1. Pendahuluan	263
14.2. Tujuan Pembelajaran	263
14.3. Cara Kerja SAM 3	264
14.4. Menyiapkan Lingkungan	264
14.5. Segmentasi Citra	265
14.6. Prompt Titik untuk Segmentasi Instans	270
14.7. Prompt Kotak untuk Ekstraksi Bangunan	277
14.8. Segmentasi Batch	281
14.9. Segmentasi Bertile untuk Citra Berukuran Besar	283
14.10. Segmentasi Interaktif	286
14.11. Segmentasi Video	288
14.12. Poin-Poin Penting	294
14.13. Latihan	295
15. Model Vision-Language	297
15.1. Pendahuluan	297
15.2. Tujuan Pembelajaran	297
15.3. Cara Kerja Model Vision-Language	298
15.4. Menyiapkan Lingkungan	299
15.5. Data Sampel	299
15.6. Menginisialisasi Prosesor Moondream	300
15.7. Pembuatan Keterangan Citra	300
15.8. Penjawaban Pertanyaan Visual	302
15.9. Deteksi Objek dan Lokalisasi Titik	302
15.10. GUI Interaktif	305
15.11. Analisis Sliding Window untuk Raster Berukuran Besar	307
15.12. Segmentasi Berbasis CLIP	313
15.13. Aplikasi Praktis dalam Observasi Bumi	315
15.14. Keterbatasan dan Pertimbangan	316
15.15. Poin-Poin Penting	317
15.16. Latihan	317
16. Embedding Satelit	319
16.1. Pendahuluan	319
16.2. Tujuan Pembelajaran	319
16.3. Apa Itu Embedding Satelit?	320
16.4. Menyiapkan Lingkungan	320
16.5. Menelusuri Dataset Embedding yang Tersedia	320
16.6. Mengeksplorasi Embedding Berbasis Patch	322
16.7. Memvisualisasikan Embedding	324
16.8. Mengelompokkan Embedding	326
16.9. Pencarian Kesamaan	328
16.10. Melatih Pengklasifikasi pada Embedding	331
16.11. Membandingkan Embedding untuk Deteksi Perubahan	335
16.12. Memuat Dataset dengan TorchGeo	337

16.13. Bekerja dengan Embedding Temporal TESSERA	337
16.14. Mengeksplorasi Embedding Satelit AlphaEarth	343
16.15. Poin-Poin Penting	346
16.16. Latihan	347
V: Plugin QGIS	349
17. Menyiapkan Plugin GeoAI QGIS	351
17.1. Pendahuluan	351
17.2. Tujuan Pembelajaran	351
17.3. Gambaran Umum Arsitektur Plugin	351
17.4. Menginstal Plugin QGIS	352
17.5. Menyiapkan Dependensi	355
17.6. Menyiapkan Akses SAM 3	359
17.7. Manajemen Memori GPU	360
17.8. Memeriksa Pembaruan Plugin	361
17.9. Poin-poin Penting	362
17.10. Latihan	362
18. Segmentasi Pohon di QGIS	365
18.1. Pendahuluan	365
18.2. Tujuan Pembelajaran	365
18.3. Gambaran Umum Panel Segmentasi Pohon	365
18.4. Memuat Model Pra-latih	366
18.5. Menjalankan Prediksi	368
18.6. Mengekspor Hasil	371
18.7. Pertimbangan Praktis	372
18.8. Poin-poin Penting	373
18.9. Latihan	373
19. Segmentasi Air di QGIS	375
19.1. Pendahuluan	375
19.2. Tujuan Pembelajaran	375
19.3. Gambaran Umum Panel Segmentasi Air	375
19.4. Mengonfigurasi Data Input	376
19.5. Menjalankan Segmentasi Air	377
19.6. Opsi Output	379
19.7. Pertimbangan Praktis	380
19.8. Poin-poin Penting	381
19.9. Latihan	381
20. Model Vision-Language di QGIS	383
20.1. Pendahuluan	383
20.2. Tujuan Pembelajaran	384
20.3. Memuat Model Moondream	384
20.4. Pembuatan Keterangan Gambar	386
20.5. Tanya Jawab Visual	388
20.6. Deteksi Objek	389
20.7. Lokalisasi Titik	390
20.8. Tips dan Keterbatasan	391
20.9. Poin-poin Penting	392
20.10. Latihan	393
21. Segment Anything di QGIS	395

21.1.	Pendahuluan	395
21.2.	Tujuan Pembelajaran	395
21.3.	Data Sampel	395
21.4.	Memuat Model SAM	396
21.5.	Segmentasi dengan Prompt Teks	398
21.6.	Segmentasi Interaktif	398
21.7.	Pemrosesan Batch	401
21.8.	Mengekspor Hasil	401
21.9.	Poin-poin Penting	403
21.10.	Latihan	404
22.	<i>Segmentasi Semantik di QGIS</i>	407
22.1.	Pendahuluan	407
22.2.	Tujuan Pembelajaran	407
22.3.	Membuat Data Pelatihan	408
22.4.	Melatih Model	410
22.5.	Menjalankan Inferensi	413
22.6.	Pemecahan Masalah Umum	414
22.7.	Poin-poin Penting	415
22.8.	Latihan	415
23.	<i>Segmentasi Instansi di QGIS</i>	417
23.1.	Pendahuluan	417
23.2.	Tujuan Pembelajaran	417
23.3.	Arsitektur Mask R-CNN	417
23.4.	Membuat Data Pelatihan	418
23.5.	Melatih Mask R-CNN	419
23.6.	Menjalankan Inferensi	421
23.7.	Poin-poin Penting	422
23.8.	Latihan	423
Referensi	425

Kata Pengantar

Pendahuluan

Kita sedang berada di tengah revolusi dalam pengamatan Bumi. Setiap hari, satelit menangkap volume data yang sangat besar, termasuk citra multispektral, radar, LiDAR, dan lainnya. Meskipun informasi ini menyimpan kunci untuk memahami kerentanan iklim dan urbanisasi, kesenjangan antara pengumpulan data dan penerapan di dunia nyata tetap menjadi hambatan utama.

Di sinilah GeoAI berperan.

Sebagai persimpangan antara ilmu geospasial dan AI, GeoAI menutup kesenjangan ini dengan kecepatan luar biasa. Model deep learning kini dapat mengidentifikasi setiap bangunan dalam skala besar atau menentukan lokasi kendaraan individual di area yang luas. Model fondasi baru memungkinkan alat-alat ini bekerja di lingkungan yang tidak dikenal dengan input manusia yang minimal. Lebih lanjut, model vision-language dan agen otonom memungkinkan analisis untuk melakukan kueri terhadap citra dan mengelola alur kerja menggunakan perintah sederhana. Tugas digitisasi manual yang dulunya memakan waktu berbulan-bulan kini dapat diselesaikan dalam hitungan menit.

Buku ini, “*GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*” adalah panduan praktis Anda untuk revolusi ini. Buku ini dibangun berdasarkan premis sederhana: cara terbaik untuk mempelajari GeoAI adalah dengan mempraktikkannya. Alih-alih berlama-lama pada teori abstrak, setiap bab memberikan alat nyata di tangan Anda, mulai dari menyiapkan dataset pelatihan dan menjalankan model deep learning hingga memvisualisasikan dan menginterpretasikan hasil Anda secara interaktif. Kodenya nyata, datasetnya nyata, dan permasalahannya mencerminkan apa yang dihadapi praktisi setiap hari.

Ekosistem Python untuk GeoAI telah berkembang pesat. Library seperti PyTorch, torchgeo, dan segment-geospasial membawa deep learning mutakhir kepada praktisi geospasial, sementara paket seperti [leafmap](#) dan [geoai](#) menyediakan antarmuka tingkat tinggi yang membuat alur kerja kompleks menjadi mudah diakses. Platform komputasi awan dan akselerasi GPU telah menurunkan hambatan untuk melatih dan menerapkan model dalam skala besar. Bersama-sama, kemajuan ini berarti seorang peneliti dengan laptop kini dapat menyelesaikan apa yang dulunya membutuhkan tim spesialis dan seruangan penuh server.

Perjalanan kita dimulai dengan fondasi: memahami format data geospasial, menyiapkan lingkungan deep learning, dan menguasai visualisasi interaktif. Kemudian kita membahas pekerjaan penting dalam memperoleh citra satelit dan menyiapkan dataset pelatihan. Dari sana, kita melanjutkan melalui tugas-tugas AI inti yang mendefinisikan penginderaan jauh modern: pengenalan citra, deteksi objek, segmentasi semantik, segmentasi instansi, translasi citra, deteksi perubahan, dan regresi tingkat piksel. Selanjutnya kita mengeksplorasi garis depan model fondasi, termasuk Segment Anything Model (SAM), model vision-language, dan embedding satelit. Terakhir, bagian khusus tentang plugin QGIS membawa kemampuan AI ini ke dalam lingkungan GIS desktop yang familiar, memungkinkan alur kerja canggih tanpa menulis kode.

Apakah Anda seorang profesional GIS yang ingin mengintegrasikan AI ke dalam alur kerja Anda, seorang data scientist yang penasaran dengan aplikasi geospasial, seorang peneliti yang mendorong batas-batas pengamatan Bumi, atau seorang mahasiswa yang memulai karier di persimpangan geografi dan pembelajaran mesin, buku ini akan membekali Anda dengan pengetahuan dan keterampilan untuk mengubah citra satelit menjadi wawasan.

Masa depan analisis geospasial bersifat cerdas, otomatis, dan mudah diakses. Mari kita bangun bersama.

Untuk Siapa Buku Ini

Buku ini dirancang untuk siapa saja yang ingin menerapkan kecerdasan buatan pada data geospasial. Jika Anda pernah menatap citra satelit dan bertanya-tanya bagaimana cara mengekstrak bangunan, jalan, atau tutupan lahan secara otomatis, atau jika Anda pernah melatih model deep learning tetapi kesulitan menerapkannya pada data geografis dengan proyeksi, koordinat, dan ukuran file yang sangat besar, buku ini untuk Anda.

Anda Akan Menemukan Nilai Terbesar Jika Anda Adalah

Seorang Profesional GIS yang siap melampaui digitisasi manual dan interpretasi visual. Anda mahir menggunakan QGIS atau ArcGIS dan memahami konsep analisis spasial, tetapi Anda ingin memanfaatkan deep learning untuk mengotomatisasi ekstraksi fitur, mengklasifikasikan tutupan lahan dalam skala besar, atau mendeteksi perubahan pada citra deret waktu.

Seorang Ilmuwan atau Peneliti Penginderaan Jauh yang bekerja dengan citra satelit atau udara. Anda memahami band spektral, resolusi spasial, dan pra-pemrosesan citra, tetapi Anda membutuhkan jembatan praktis menuju teknik AI modern, mulai dari melatih model segmentasi hingga menerapkan model fondasi seperti SAM ke area studi Anda.

Seorang Data Scientist atau Machine Learning Engineer dengan pengalaman dalam deep learning yang ingin menerapkan keterampilan Anda pada masalah geospasial. Anda nyaman dengan PyTorch atau TensorFlow dan memahami CNN serta transformer, tetapi Anda membutuhkan panduan tentang tantangan unik data geografis: sistem referensi koordinat, pemotongan raster besar, penanganan citra multi-band, dan georeferensi output model.

Seorang Mahasiswa Pascasarjana atau Peneliti Awal Karier di bidang geografi, ilmu lingkungan, perencanaan kota, ekologi, atau bidang terkait. Penelitian Anda melibatkan data spasial, dan Anda ingin memasukkan metode AI mutakhir ke dalam tesis atau publikasi Anda sambil membangun keterampilan yang semakin dibutuhkan.

Seorang Pengembang Perangkat Lunak yang membangun aplikasi geospasial yang memerlukan analisis cerdas. Anda perlu mengintegrasikan ekstraksi fitur, klasifikasi, atau deteksi perubahan berbasis AI ke dalam aplikasi web, API, atau pipeline otomatis, dan Anda ingin memahami alur kerja lengkap dari pelatihan model hingga penerapan.

Prasyarat Penting

Anda harus merasa nyaman dengan:

- **Pemrograman Python:** variabel, fungsi, kelas, dan mengimpor library (keahlian Python tingkat lanjut tidak diperlukan)
- **Analisis data dasar:** bekerja dengan data tabular, memfilter, mengagregasi, dan membuat plot
- **Konsep geospasial dasar:** memahami bahwa data memiliki lokasi, apa itu data raster dan vektor, dan keakraban dasar dengan sistem koordinat
- **Dasar-dasar baris perintah:** menavigasi direktori, menjalankan skrip, dan menginstal paket

Latar Belakang yang Membantu (Tetapi Tidak Diperlukan)

- Pengalaman dengan framework deep learning (PyTorch, TensorFlow)
- Keakraban dengan konsep penginderaan jauh (band spektral, resolusi spasial, klasifikasi citra)
- Paparan sebelumnya terhadap library Python geospasial (rasterio, geopandas, leafmap)

- Pemahaman tentang dasar-dasar pembelajaran mesin (pelatihan vs. inferensi, overfitting, metrik evaluasi)

Jika Anda Baru dalam Pemrograman Python Geospasial

Jika Anda baru dalam pemrograman Python geospasial, buku berikut memberikan pengantar yang sangat baik untuk konsep GIS dasar dan pemrograman Python:

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Bagi yang tertarik dengan manajemen data spasial dan analitik geospasial berbasis SQL, buku pendamping ini menawarkan panduan komprehensif:

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

Apa yang Dibahas Buku Ini

Buku ini menawarkan perjalanan terstruktur dari dasar-dasar geospasial hingga aplikasi GeoAI siap produksi, membekali Anda dengan keterampilan praktis melalui contoh langsung di setiap langkah. Setiap bab dibangun di atas bab sebelumnya, secara progresif memperluas kemampuan Anda untuk menerapkan AI pada masalah geospasial dunia nyata.

Bagian I: Fondasi (*Bab 1-3*)

Membangun pengetahuan dan alat penting yang mendasari semua konten selanjutnya:

- **Bab 1: Pengantar GeoAI** memberikan gambaran komprehensif tentang lanskap GeoAI: apa itu, mengapa penting, dan bagaimana deep learning telah mengubah analisis geospasial. Anda akan menjelajahi tugas-tugas AI utama dalam penginderaan jauh, meninjau ekosistem Python untuk GeoAI, dan memahami ke mana model fondasi dan agen AI membawa bidang ini.
- **Bab 2: Pengaturan Lingkungan** memandu Anda dalam mengonfigurasi lingkungan pengembangan GeoAI yang lengkap. Dari menginstal Python dan mengelola paket dengan conda hingga menyiapkan akselerasi GPU dengan CUDA dan PyTorch, bab ini memastikan Anda memiliki fondasi yang solid dan dapat direproduksi untuk semua pekerjaan praktis selanjutnya.
- **Bab 3: Format Data Geospasial** membahas format data yang akan Anda temui di seluruh buku ini, termasuk format raster seperti GeoTIFF dan Cloud Optimized GeoTIFF (COG), format vektor seperti GeoJSON dan GeoParquet, serta format khusus untuk deep learning seperti anotasi COCO dan Pascal VOC. Anda akan belajar membaca, menulis, dan mengonversi antar format menggunakan Python.

Di akhir Bagian I, Anda akan memiliki lingkungan deep learning yang sepenuhnya terkonfigurasi dan pemahaman yang solid tentang format data dan konsep yang diperlukan untuk bekerja dengan GeoAI.

Bagian II: Akuisisi dan Persiapan Data (*Bab 4-6*)

Menguasai pekerjaan penting namun sering kurang dihargai dalam memperoleh dan menyiapkan data geospasial untuk AI:

- **Bab 4: Mengunduh Data Penginderaan Jauh** mengajarkan Anda cara mengakses citra satelit, data elevasi, dan dataset geospasial lainnya secara programatik dari sumber seperti Google Earth Engine,

Microsoft Planetary Computer, dan berbagai portal data terbuka. Anda akan belajar mencari, memfilter, dan mengunduh data untuk area studi Anda secara efisien.

- **Bab 5: Pemetaan Interaktif & Visualisasi** memperkenalkan alat visualisasi yang kuat untuk menjelajahi data geospasial secara interaktif. Menggunakan leafmap dan library lainnya, Anda akan membuat peta interaktif, melapisi citra satelit, memvisualisasikan prediksi model, dan membangun narasi visual yang menarik. Keterampilan ini penting untuk analisis eksplorasi dan mengkomunikasikan hasil.
- **Bab 6: Membuat Data Pelatihan** membahas salah satu langkah terpenting dalam pipeline AI: menyiapkan dataset pelatihan berkualitas tinggi. Anda akan belajar membuat dataset berlabel untuk tugas segmentasi, deteksi, dan klasifikasi, termasuk strategi anotasi dan cara memotong citra satelit besar menjadi chip pelatihan.

Di akhir Bagian II, Anda akan mampu memperoleh citra satelit dari berbagai sumber, memvisualisasikannya secara interaktif, dan menyiapkan dataset pelatihan yang terstruktur dengan baik dan siap untuk model deep learning.

Bagian III: Tugas AI Inti (*Bab 7-13*)

Menyelami tugas-tugas AI fundamental yang mendefinisikan analisis geospasial modern:

- **Bab 7: Pengenalan Citra** memperkenalkan deep learning untuk mengklasifikasikan seluruh citra. Anda akan belajar membangun model klasifikasi citra yang mengidentifikasi jenis pemandangan, kategori penggunaan lahan, dan fitur geografis dari citra satelit dan udara.
- **Bab 8: Deteksi Objek** mengajarkan Anda untuk menemukan dan mengklasifikasikan objek individual dalam citra geospasial. Dari mendeteksi bangunan dan kendaraan hingga mengidentifikasi pohon dan panel surya, Anda akan bekerja dengan arsitektur seperti Faster R-CNN dan YOLO yang diadaptasi untuk penginderaan jauh.
- **Bab 9: Segmentasi Semantik** membahas klasifikasi tingkat piksel, memberikan label kelas ke setiap piksel dalam citra. Anda akan melatih model untuk menggambarkan fitur seperti badan air, vegetasi, dan area terbangun dari citra satelit, mempelajari arsitektur seperti U-Net dan DeepLabV3+ di sepanjang jalan.
- **Bab 10: Segmentasi Instansi** menggabungkan deteksi dan segmentasi, menghasilkan batas yang presisi untuk setiap objek individual. Anda akan belajar membedakan fitur yang tumpang tindih, seperti jejak bangunan individual di area urban padat, menggunakan model seperti Mask R-CNN.
- **Bab 11: Translasi Citra** menerapkan AI untuk mentransformasi citra antar domain, termasuk super-resolusi, translasi sensor, dan penghapusan awan. Anda akan melatih model pada citra satelit multispektral dan belajar menghasilkan output resolusi lebih tinggi dari input resolusi lebih rendah.
- **Bab 12: Deteksi Perubahan** menangani tantangan mengidentifikasi apa yang telah berubah antara citra yang ditangkap pada waktu yang berbeda. Dari ekspansi perkotaan dan deforestasi hingga penilaian kerusakan pasca-bencana, Anda akan mempelajari pendekatan tradisional dan deep learning untuk analisis temporal.
- **Bab 13: Regresi Tingkat Piksel** melampaui klasifikasi untuk memprediksi nilai kontinu untuk setiap piksel, seperti tinggi kanopi, biomassa, kelembaban tanah, atau kepadatan populasi. Anda akan melatih model regresi pada citra satelit dan mempelajari strategi evaluasi khusus untuk prediksi kontinu.

Di akhir Bagian III, Anda akan memiliki pengalaman langsung dengan semua tugas GeoAI utama, memahami kapan menerapkan setiap pendekatan, dan mampu melatih serta mengevaluasi model untuk aplikasi geospasial Anda sendiri.

Bagian IV: Model Fondasi dan Embedding Satelit (*Bab 14-16*)

Menjelajahi garis depan GeoAI, di mana model fondasi yang telah dilatih sebelumnya mendefinisikan ulang apa yang mungkin:

- **Bab 14: Segment Anything untuk Geospasial** memperkenalkan Segment Anything Model (SAM) dan penerapannya pada citra geospasial. Menggunakan paket [segment-geospatial](#), Anda akan belajar mensegmentasi citra satelit dengan prompt minimal, mengekstrak bangunan, lahan pertanian, badan air, dan lainnya tanpa pelatihan khusus tugas.
- **Bab 15: Model Vision-Language** mengeksplorasi model yang menjembatani pemahaman visual dan tekstual. Anda akan belajar melakukan kueri terhadap citra satelit menggunakan bahasa alami, menghasilkan keterangan untuk pemandangan geospasial, dan memanfaatkan model multimodal untuk tugas seperti menjawab pertanyaan visual pada data penginderaan jauh.
- **Bab 16: Embedding Satelit** mengeksplorasi ekosistem dataset embedding satelit yang telah dihitung sebelumnya dari model fondasi yang berkembang pesat. Anda akan belajar menelusuri, memuat, dan memvisualisasikan embedding dari sembilan dataset termasuk Clay, TESSERA, dan AlphaEarth dari Google, melakukan pencarian kemiripan dan pengelompokan, serta melatih pengklasifikasi ringan pada vektor embedding.

Di akhir *Bagian IV*, Anda akan memahami bagaimana model fondasi membentuk ulang GeoAI, dan Anda akan dilengkapi untuk menerapkan teknik canggih ini pada penelitian dan proyek Anda sendiri.

Bagian V: Plugin QGIS (*Bab 17-23*)

Membawa kemampuan GeoAI ke dalam lingkungan GIS desktop QGIS yang familiar melalui plugin GeoAI:

- **Bab 17: Menyiapkan Plugin GeoAI QGIS** memandu Anda melalui instalasi dan konfigurasi plugin GeoAI QGIS. Anda akan menggunakan penginstal dependensi bawaan atau menyiapkan lingkungan Pixi dengan dukungan PyTorch dan CUDA, menginstal plugin, dan belajar mengelola memori GPU untuk menjalankan model AI besar dalam QGIS.
- **Bab 18: Segmentasi Pohon di QGIS** mendemonstrasikan panel Segmentasi Pohon untuk deteksi mahkota pohon dan deteksi objek ekologis. Anda akan memuat model yang telah dilatih sebelumnya untuk pohon, burung, ternak, sarang, dan pohon mati, mengonfigurasi parameter prediksi untuk citra tunggal dan tile besar, serta mengeksport hasil dalam format vektor, raster, dan data pelatihan.
- **Bab 19: Segmentasi Air di QGIS** membahas panel Segmentasi Air untuk deteksi badan air otomatis menggunakan OmniWaterMask. Anda akan mengonfigurasi urutan band untuk sensor yang berbeda, menyetel parameter inferensi berbasis patch, mengintegrasikan data OpenStreetMap untuk penyempurnaan, dan mengeksport masker air sebagai data raster dan vektor.
- **Bab 20: Model Vision-Language di QGIS** mendemonstrasikan panel Moondream VLM untuk interaksi bahasa alami dengan citra geospasial. Anda akan menghasilkan keterangan citra, mengajukan pertanyaan tentang fitur yang terlihat, mendeteksi objek dengan kotak pembatas, dan menemukan fitur dengan penanda titik.
- **Bab 21: Segment Anything di QGIS** mendemonstrasikan panel Segment Anything untuk segmentasi interaktif dan otomatis. Anda akan memuat SAM 3, mensegmentasi objek menggunakan prompt teks, melakukan segmentasi interaktif dengan prompt titik dan kotak, memproses batch fitur, dan mengeksport hasil yang tergeoreferensi.
- **Bab 22: Segmentasi Semantik di QGIS** membahas alur kerja lengkap dari pelatihan hingga inferensi untuk klasifikasi tingkat piksel tanpa menulis kode. Anda akan membuat dataset pelatihan, memilih

dari arsitektur seperti U-Net, DeepLabV3+, dan SegFormer, melatih model kustom, dan menjalankan inferensi dengan vektorisasi dan penghalusan.

- **Bab 23: Segmentasi Instansi di QGIS** mendemonstrasikan deteksi objek tingkat instansi menggunakan Mask R-CNN. Anda akan membuat data pelatihan instansi dalam format PASCAL_VOC, melatih model untuk mendeteksi dan menggambarkan objek individual, dan menggunakan output per-objek untuk penghitungan, pengukuran, dan analisis spasial.

Di akhir Bagian V, Anda akan mampu menjalankan alur kerja GeoAI canggih langsung dalam QGIS, membuat analisis berbasis AI dapat diakses oleh praktisi GIS tanpa memerlukan keahlian pemrograman Python.

Tema Lintas Bab

- **Praktik Langsung:** Setiap konsep disertai contoh kode yang dapat dijalankan menggunakan data geospasial nyata.
- **Alat Open Source:** Semua perangkat lunak yang digunakan dalam buku ini gratis dan open source, memastikan aksesibilitas dan reproduktibilitas.
- **Alur Kerja Skalabel:** Teknik yang bekerja di laptop dan dapat diskalakan ke infrastruktur awan.
- **Aplikasi Dunia Nyata:** Contoh diambil dari pemantauan lingkungan, analitik perkotaan, pertanian, dan respons bencana.
- **Reproduktibilitas:** Semua kode dan data tersedia di GitHub, memungkinkan Anda mereproduksi setiap hasil dalam buku ini.

Mendapatkan Hasil Maksimal dari Buku Ini

Untuk memaksimalkan pengalaman belajar Anda dengan buku ini, pertimbangkan rekomendasi berikut:

Siapkan Lingkungan Anda Sejak Awal: Ikuti Bab 2 dengan cermat untuk mengonfigurasi lingkungan Python Anda dengan dukungan GPU. Banyak tugas GeoAI mendapat manfaat signifikan dari akselerasi GPU, dan lingkungan yang terkonfigurasi dengan benar akan menghemat waktu Anda yang cukup besar sepanjang buku ini. Jika Anda tidak memiliki GPU lokal, buku ini menyediakan panduan tentang penggunaan platform GPU berbasis awan seperti Google Colab.

Ikuti Bersama Kode: Buku ini dirancang untuk menjadi interaktif. Jangan hanya membaca kode. Ketiklah, jalankan, dan amati hasilnya. Ubah parameter, coba dataset yang berbeda, dan bereksperimen. Pemahaman datang melalui praktik, dan contoh-contoh langsung adalah inti dari buku ini. Ketika sesuatu tidak berjalan sesuai harapan, tahan keinginan untuk melewatinya. Debugging adalah salah satu pengalaman belajar yang paling berharga, dan keterampilan pemecahan masalah yang Anda kembangkan akan berguna sepanjang karier GeoAI Anda.

Kerjakan Bab Secara Berurutan: Meskipun praktisi berpengalaman mungkin langsung ke topik tertentu, bab-babnya dibangun satu sama lain. Konsep yang diperkenalkan di bab-bab awal (pengaturan lingkungan, format data, teknik visualisasi) digunakan di seluruh buku. Jika Anda melewati ke depan, rujuk kembali jika diperlukan.

Gunakan Data Anda Sendiri: Meskipun buku ini menyediakan dataset untuk setiap contoh, pembelajaran nyata terjadi saat Anda menerapkan teknik ini pada data yang Anda pedulikan. Coba jalankan model segmentasi pada citra area studi Anda, atau latih model deteksi objek pada fitur yang relevan dengan penelitian Anda.

Rangkul Kesalahan: Melatih model deep learning melibatkan iterasi. Model tidak selalu konvergen pada percobaan pertama, prediksi tidak selalu sempurna, dan GPU sesekali akan kehabisan memori. Ini adalah

kesempatan belajar. Buku ini membahas jebakan umum dan strategi debugging, tetapi mengembangkan insting untuk mendiagnosis masalah datang melalui pengalaman.

Bangun Proyek Portofolio: Seiring kemajuan Anda melalui buku ini, identifikasi masalah geospasial yang menarik bagi Anda dan terapkan teknik yang Anda pelajari. Sebuah proyek lengkap, dari akuisisi data hingga pelatihan model hingga visualisasi, mendemonstrasikan keterampilan Anda jauh lebih efektif daripada sertifikasi apa pun.

Tetap Terkini: GeoAI adalah bidang yang berkembang pesat. Model fondasi, arsitektur, dan alat baru muncul secara teratur. Repositori GitHub buku ini diperbarui secara berkala dengan konten dan contoh baru untuk melanjutkan perjalanan belajar Anda.

Konvensi yang Digunakan dalam Buku Ini

Buku ini menggunakan beberapa konvensi untuk membantu Anda menavigasi konten dan memahami contoh kode:

Pemformatan Kode: Semua kode Python muncul dalam font monospace di dalam blok kode. Ketika kode muncul dalam teks biasa, diformat seperti ini. Nama file dan direktori, nama paket, dan nama fungsi juga diformat dalam font monospace.

Contoh Kode: Sebagian besar contoh kode lengkap dan dapat dijalankan. Contoh-contoh ini menyertakan komentar yang menjelaskan konsep dan teknik utama yang didemonstrasikan. Berikut adalah contoh khas menggunakan library `leafmap`:

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Impor Paket: Di awal setiap bab, semua impor yang diperlukan dicantumkan. Paket utama yang akan Anda temui di seluruh buku ini meliputi:

- `geoai` - alur kerja GeoAI tingkat tinggi (opengeoai.org)
- `leafmap` - visualisasi geospasial interaktif (leafmap.org)
- `samgeo` - SAM untuk data geospasial (samgeo.github.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - deep learning dengan PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` - membaca dan menulis data geospasial

Gambar dan Peta: Peta interaktif dirender langsung di notebook Jupyter. Dalam edisi cetak, cuplikan statis ditampilkan dengan keterangan yang menjelaskan fitur interaktif yang tersedia di versi online.

Mengunduh Contoh Kode

Semua contoh kode dan materi pendukung untuk buku ini tersedia secara gratis di GitHub: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Semua dataset sampel tersedia di Source Cooperative: <https://source.coop/opengeos/geoai>

Untuk mengunduh materinya, Anda dapat menggunakan salah satu metode berikut:

- **Klon repositori** (disarankan jika Anda telah menginstal Git):

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Unduh sebagai ZIP** (jika Anda lebih suka tidak menggunakan Git):
 - Kunjungi halaman repositori GitHub
 - Klik tombol hijau **Code**
 - Pilih **Download ZIP**
 - Ekstrak file ke lokasi pilihan Anda
- **Jelajahi file individual** secara online melalui antarmuka GitHub atau situs web buku ini di book.opengeoai.org

Repositori diperbarui secara berkala dengan koreksi, perbaikan, dan contoh tambahan. Periksa secara berkala untuk pembaruan, atau **star** dan **watch** repositori di GitHub untuk mendapat pemberitahuan perubahan.

Jika Anda menemukan kesalahan dalam kode atau memiliki saran perbaikan, silakan buka issue atau kirim pull request di GitHub. Kontribusi komunitas membantu menjadikan sumber daya ini lebih baik untuk semua orang.

Tutorial Video

Melengkapi konten tertulis, buku ini didukung oleh tutorial video yang memandu konsep utama dan memberikan demonstrasi tambahan:

<https://youtube.com/@giswqs>

Video-video ini dirancang untuk melengkapi, bukan menggantikan, materi tertulis. Video-video ini sangat membantu untuk:

- Pembelajar visual yang mendapat manfaat dari melihat kode ditulis dan dieksekusi secara real time
- Memahami alur kerja kompleks seperti pelatihan model dan inferensi melalui panduan langkah demi langkah
- Melihat bagaimana mendekati masalah geospasial dan men-debug masalah umum
- Mempelajari tips dan praktik terbaik untuk bekerja dengan dataset satelit besar

Tutorial video tambahan akan ditambahkan seiring perkembangan buku ini. Berlangganan ke channel tersebut untuk mendapat pemberitahuan konten baru.

Komunitas dan Umpan Balik

Saya menyambut umpan balik, pertanyaan, dan saran dari pembaca. Masukan Anda membantu meningkatkan buku ini dan menjadikannya lebih berguna bagi komunitas GeoAI.

Untuk pertanyaan dan diskusi terkait buku:

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

Untuk pertanyaan terkait paket tertentu:

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Jenis umpan balik yang sangat membantu:

- Kesalahan atau penjelasan yang kurang jelas dalam teks atau kode
- Saran untuk contoh, dataset, atau kasus penggunaan tambahan
- Laporan masalah kompatibilitas dengan sistem operasi, konfigurasi GPU, atau versi library yang berbeda
- Ide untuk topik baru atau teknik GeoAI yang sedang berkembang untuk dibahas
- Cerita sukses tentang bagaimana Anda menerapkan teknik dari buku ini pada pekerjaan Anda sendiri

Tentang Penulis

Dr. Qiusheng Wu adalah Associate Professor dan Direktur Studi Pascasarjana di Department of Geography & Sustainability di University of Tennessee, Knoxville. Beliau juga menjabat sebagai Amazon Scholar. Penelitian Dr. Wu berfokus pada pengembangan analitik geospasial open-source melalui komputasi awan dan GeoAI, dengan penekanan pada pemanfaatan big data geospasial dan kecerdasan buatan untuk mempelajari perubahan lingkungan, khususnya dinamika genangan air permukaan dan lahan basah.

Beliau adalah pencipta dan pengelola beberapa paket Python open-source yang banyak digunakan, termasuk [geemap](https://geemap.org)¹ untuk visualisasi interaktif Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² untuk pemetaan geospasial yang serbaguna, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ untuk menerapkan Segment Anything Model pada data geospasial, dan [geoai](https://opengeoai.org)⁴ untuk alur kerja GeoAI tingkat tinggi. Proyek open-source beliau, yang tersedia melalui organisasi [Open Geospatial Solutions](https://opengeosolutions.org)⁵ di GitHub, telah diadopsi secara luas oleh peneliti, pendidik, dan praktisi di seluruh dunia.

Karya Dr. Wu menjembatani penginderaan jauh, pengamatan Bumi, dan kecerdasan buatan untuk membuat data geospasial skala besar lebih mudah diakses, direproduksi, dan cerdas. Beliau bersemangat tentang sains terbuka dan percaya bahwa alat terbaik untuk memahami planet kita harus tersedia secara gratis untuk semua orang.

Lisensi dan Hak Cipta

Buku ini menganut prinsip-prinsip sains terbuka dan pendidikan terbuka. Untuk mendukung transparansi, pembelajaran, dan penggunaan ulang, **contoh kode** dalam buku ini dirilis di bawah lisensi [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Ini berarti Anda bebas menyalin, memodifikasi, dan mendistribusikan kode tersebut, bahkan untuk tujuan komersial, selama kredit yang sesuai diberikan.

Silakan atribusikan penggunaan kode dengan mengutip buku ini atau menautkan ke repositori GitHub:

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Meskipun kode tersedia secara bebas, **teks, gambar, dan citra** dalam buku ini **dilindungi hak cipta** © 2026 oleh penulis dan tidak boleh direproduksi, didistribusikan ulang, atau dimodifikasi tanpa izin eksplisit. Ini mencakup semua konten tertulis, diagram kustom, dan visualisasi tertanam kecuali dinyatakan lain.

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

Jika Anda ingin menggunakan ulang atau mengadaptasi materi non-kode dari buku ini (misalnya, untuk pengajaran, presentasi, atau publikasi), silakan hubungi penulis untuk meminta izin.

Pendekatan lisensi ganda ini membantu menyeimbangkan akses terbuka terhadap materi pembelajaran dengan perlindungan karya kreatif asli. Terima kasih telah menghormati ketentuan ini dan mendukung komunitas geospasial open-source.

Panduan Praktis untuk AI Geospasial Open Source

Kecerdasan buatan sedang mengubah cara kita menganalisis dan memahami planet kita. GeoAI dengan Python adalah panduan praktis yang komprehensif untuk menerapkan teknik AI pada data geospasial, mulai dari citra satelit dan foto udara hingga dataset vektor dan arsip observasi Bumi.

Setiap bab dilengkapi dengan notebook Jupyter pendamping yang menggunakan data nyata, sehingga Anda dapat mengikuti langkah demi langkah dan mereproduksi setiap hasil. Baik Anda seorang profesional GIS yang ingin mengeksplorasi AI maupun ilmuwan data yang baru pertama kali bekerja dengan data spasial, buku ini menjembatani kedua dunia tersebut.

Qiusheng Wu adalah Profesor Asosiasi di University of Tennessee dan Amazon Scholar. Ia adalah pencipta beberapa paket Python geospasial open source yang banyak digunakan, termasuk geemap, leafmap, segment-geospatial, dan geoai. Proyeknya tersedia di <https://github.com/opengeos>.

Apa yang akan Anda pelajari

- Mengunduh dan menyiapkan data penginderaan jauh dari NAIP, Sentinel-2, dan katalog STAC
- Melatih model deep learning untuk segmentasi, deteksi objek, dan klasifikasi tutupan lahan
- Menerapkan model fondasi seperti SAM 3, Moondream, dan embedding satelit pada permasalahan dunia nyata
- Membangun peta interaktif dan visualisasi untuk analisis geospasial
- Menggunakan plugin QGIS untuk segmentasi, pelatihan, inferensi, dan model visi-bahasa



Pindai kode QR untuk mengunjungi situs web buku dan mengunduh contoh kode dari <https://book.opengeoai.org>.

