LOKAKARYA PRAKTIK

# Rakit penerima ADS-B Anda sendiri dan tampilkan langit Anda di peta

Semua yang ada dalam kursus ini dapat diperiksa dari jendela Anda sendiri. Lokakarya ini menjelaskan dengan tepat apa yang harus dibeli, cara merakitnya, cara memasang feeder Dataero di Raspberry Pi, dan cara melihat pesawat yang Anda dengar muncul di radar.dataero.eu atas nama stasiun Anda. Tidak diperlukan pengalaman di bidang radio, elektronika, atau Linux. Siapkan anggaran sekitar 100 hingga 150 euro, satu sore, dan jendela yang menghadap ke langit.

Belajar - https://radar.dataero.eu/id/learning/workshop 2026-11-21

DAFTAR ISI

SEBELUM MEMULAI Apa yang akan Anda rakit, dan mengapa itu sepadan
SATU GAMBAR Bagaimana komponen-komponennya saling terhubung
DAFTAR BELANJA Apa yang harus dibeli, komponen demi komponen
TEMPAT PEMASANGAN Menempatkan antena: ketinggian, langit, dan kabel
LANGKAH 1 Merakit perangkat keras
LANGKAH 2 Menyiapkan Raspberry Pi
LANGKAH 3 Memasang feeder Dataero
LANGKAH 4 Mulai mengudara, dan mengklaim penerima Anda
LANGKAH 5 Penyetelan, dan memahami apa yang Anda lihat
JIKA TIDAK BERHASIL Pemecahan masalah
SESUDAHNYA Menjaga agar tetap berjalan
UNTUK KELAS ATAU KELUARGA Menjadikan penerima sebuah proyek
SELAMAT DATANG Apa yang didapat feeder, dan apa yang didapat peta dari Anda

SEBELUM MEMULAI

## Apa yang akan Anda rakit, dan mengapa itu sepadan

Penerima terdiri dari empat bagian berurutan: antena yang menangkap gelombang 1090 MHz, dongle USB yang mengubah gelombang menjadi angka, komputer kecil yang mendekode angka tersebut menjadi pesan, dan koneksi internet yang mengirimkan posisi hasil dekode ke Dataero. Sejak feeder berjalan, setiap pesawat yang didengar antena Anda digambar di peta langsung **radar.dataero.eu**, untuk semua orang, dengan stasiun Anda disebut sebagai sumbernya. Tidak ada bagian rangkaian yang memancarkan sinyal: Anda hanya mendengarkan, dan mendengarkan itu legal di Belgia, di seluruh Uni Eropa, dan di sebagian besar dunia (jika Anda tinggal di tempat lain, periksa aturan tentang perangkat penerima di negara Anda).

Kursus menjelaskan mengapa sistem ini bekerja; penerima memungkinkan Anda mengujinya. Anda akan mengukur cakrawala radio dari bab 7 terhadap pesawat sungguhan, melihat hukum kuadrat terbalik pada kolom kekuatan sinyal, mengamati laju pesan berubah sesuai waktu dalam sehari, dan

membandingkan antena di jendela dengan antena di atap. Bagi keluarga, inilah proyek yang menutup cerita; bagi kelas, inilah instrumen permanen di atap yang menghasilkan data nyata sepanjang tahun.

Penerima ini juga menjadikan Anda seorang **feeder**. Peta Dataero dibangun sepenuhnya dari penerima yang dikelola oleh sukarelawan, bandara, dan sekolah, dan peta itu hanya sebaik para pendengarnya. Seorang feeder mendapatkan, secara gratis, apa yang tidak didapat pengunjung: dasbor tentang apa yang didengar stasiun, peta cakupan wilayah langitnya dalam dua dan tiga dimensi, riwayat penerbangan 365 hari, dan tempat di papan peringkat bersama setiap stasiun lain di jaringan. Tidak ada biaya, tidak ada yang perlu ditandatangani, dan penerima yang sama tetap dapat mengirim data ke jaringan lain yang sudah Anda gunakan.

**Waktu, biaya, keterampilan**
**Biaya:** 150 hingga 200 euro untuk rakitan dasar, dibeli baru, 300 hingga 420 untuk rakitan lanjutan; lebih murah jika Anda sudah memiliki Raspberry Pi. **Waktu:** satu sore setelah semua komponen tiba - sekitar 30 menit perakitan, 10 menit untuk menyiapkan kartu memori, 10 menit untuk memasang feeder. **Keterampilan:** memasang konektor ulir, menyalin tiga baris ke terminal. **Biaya operasional:** penerima memakai daya 4 hingga 5 watt, sekitar 40 kWh per tahun, kira-kira 10 hingga 15 euro listrik.

SATU GAMBAR

## Bagaimana komponen-komponennya saling terhubung




Sinyal mengalir dari kiri ke kanan. Tiga tahap di kiri adalah radio, dua berikutnya adalah komputasi, tiga terakhir adalah jaringan. Setiap tahap memiliki bab dalam kursus referensi.

Antena adalah tempat fisika dari bab 5 sampai 8 terjadi: sepotong logam seperempat gelombang, panjangnya sekitar 65 mm, beresonansi dengan gelombang 27,5 cm dan mengubah beberapa sepermiliar watt menjadi tegangan yang sangat kecil. Kabel menyalurkan tegangan itu ke dongle dan kehilangan kira-kira separuhnya setiap sepuluh meter jika kabelnya tipis; karena itu antena sebaiknya dekat dengan dongle atau kabelnya harus tebal. Filter dan penguat bersifat opsional: keduanya memperkuat sinyal 1090 MHz sebelum mencapai dongle dan menolak pemancar telepon seluler dan radio FM yang jika tidak akan membuatnya "tuli". Dongle adalah radio yang didefinisikan perangkat lunak (SDR) yang mencuplik gelombang dua juta kali per detik dan menyerahkan angkanya ke Raspberry Pi, tempat dekoder (readsb, turunan dump1090) menemukan preambul dari bab 4, membaca 112 bit, memeriksa kode galat, dan membuang apa pun yang gagal. Feeder Dataero kemudian meneruskan pesan hasil dekode melalui koneksi internet Anda ke hub penerimaan data Dataero, yang menggabungkan stasiun Anda dengan semua stasiun lain menjadi peta.

DAFTAR BELANJA

# Apa yang harus dibeli, komponen demi komponen

Daftar di bawah ini lengkap: dengan komponen-komponen ini dan tidak ada yang lain, Anda sudah bisa mengirim data. Ada dua rakitan. Rakitan dasar menempatkan antena kecil di dalam ruangan, di jendela atau di loteng, dan sudah cukup untuk melihat sistem bekerja dan mengirim data sejak malam pertama; rakitan lanjutan menempatkan antena yang disetel di luar ruangan, dengan penguat berfilter dan kabel rugi rendah, dan menjangkau cakrawala radio. Harga bersifat indikatif, untuk barang baru, termasuk PPN, dan bervariasi menurut toko dan bulan. Tombol Beli membuka setiap komponen di toko Amazon negara yang Anda pilih; komponen yang sama dijual oleh toko elektronik mana pun, dan komputernya oleh penjual resmi Raspberry Pi (situs web Raspberry Pi mencantumkan mereka per negara). Apa pun tokonya, belilah dongle yang dijual untuk ADS-B, karena dongle yang sama yang dijual sebagai tuner televisi sering kali merupakan versi lama yang lebih berisik.

## Komputer: Raspberry Pi

**Raspberry Pi 4 Model B dengan memori 2 GB** adalah pilihan yang tepat: ia mendekode 1090 MHz hanya dengan sebagian kecil dayanya, memiliki empat port USB, Ethernet kabel, dan Wi-Fi, dan dijual dalam kit bersama casing dan catu daya. Raspberry Pi 5 bekerja sama baiknya dan sedikit lebih mahal; Raspberry Pi 3B+ dapat digunakan jika Anda sudah memilikinya; Raspberry Pi Zero 2 W dapat bekerja tetapi daya USB-nya pas-pasan dan sebaiknya dihindari untuk rakitan pertama. Belilah **catu daya resmi** untuk model Anda (pengisi daya ponsel yang lemah adalah penyebab paling umum penerima yang menyala ulang secara acak), **kartu microSD 16 atau 32 GB** dari merek terkenal, dan **casing** yang memiliki ventilasi, karena dongle dan prosesor sama-sama menjadi hangat. Tambahkan set heatsink kecil jika kit tidak menyertakannya. Perkirakan 50 hingga 70 euro untuk komputer, 10 hingga 15 untuk catu daya, 10 untuk kartu, dan 10 untuk casing.

## Radio: dongle RTL-SDR

Dongle adalah radio yang didefinisikan perangkat lunak yang dibangun di sekitar chip RTL2832U dan tuner R820T2 atau R860, keluarga yang sama dengan yang dijelaskan di bab 9. Belilah dongle yang **dijual untuk ADS-B**. Pilihan awal terbaik adalah dongle dengan **filter dan penguat 1090 MHz bawaan** (FlightAware Pro Stick Plus yang paling terkenal; FlightStick dari AirNav serupa): filter dan penguat derau rendah yang biasanya Anda beli terpisah sudah ada di dalam stik, dan ia mendengar dua sampai tiga kali lebih jauh daripada dongle biasa di kota. Dongle serba guna (RTL-SDR Blog V4, Nooelec NESDR SMArTee) juga dapat digunakan dan lebih fleksibel jika nanti Anda ingin mendengarkan hal lain, tetapi tambahkan filter eksternal yang dijelaskan di bawah jika Anda tinggal dalam jarak beberapa kilometer dari menara telepon seluler. Apa pun yang Anda beli, periksa konektor antenanya: **SMA** adalah standar dan setiap antena serta kabel dalam daftar ini menggunakannya; hindari dongle dengan konektor MCX yang kecil, yang memerlukan adaptor dan mudah patah. Perkirakan 30 hingga 45 euro.

## Antena

Mulailah dengan antena magnetik kecil yang ada di kotak dongle, jika ada: di atas permukaan logam di jendela, antena ini mendengar pesawat sejauh 80 hingga 150 km dan cukup untuk melihat sistem bekerja pada malam pertama. Namun, penerima yang sesungguhnya membutuhkan **antena 1090 MHz yang disetel**, dan inilah komponen yang tidak boleh dihemat: antena kolinear bertumpuk di dalam

tabung tahan cuaca, panjang 60 hingga 70 cm, dengan gain 4 hingga 6 dBi dan konektor N atau SMA di bagian bawah (antena 1090 MHz dari FlightAware dan A3 dari Jetvision adalah pilihan yang umum, 50 hingga 70 euro). Antena ini dibuat untuk beresonansi tepat pada panjang gelombang dari bab 8 dan memusatkan kepekaannya ke arah cakrawala, tempat pesawat-pesawat yang jauh berada; di luar ruangan, pada tiang pendek dengan pandangan terbuka, ia menjangkau cakrawala radio, 350 hingga 450 km untuk pesawat pada ketinggian jelajah. Antena buatan sendiri dari kawat adalah percobaan kelas, bukan penerima: kesalahan beberapa milimeter saja membuatnya tidak lagi tersetel dan ia hanya mendengar sebagian kecil dari apa yang didengar antena yang disetel di pabrik.

### Kabel dan konektor

Jika antena berada di sebelah Pi, **kabel SMA male ke SMA male sepanjang 1 hingga 3 m** dari jenis yang tipis dan lentur (RG-174 untuk satu meter, RG-58 atau H155 untuk tiga meter) sudah cukup. Semakin panjang jalurnya, semakin tebal kabelnya harus: pada 1090 MHz, kabel tipis kehilangan sekitar 3 dB, separuh sinyal, setiap sepuluh meter, sedangkan kabel tebal rugi rendah seperti LMR-400 atau H1000 kehilangan sekitar 1,3 dB. Karena itu, antena atap yang berjarak 15 m dari Pi memerlukan LMR-400 atau penguat berfilter di antena, atau keduanya. Belilah kabel yang sudah dipotong sesuai panjang dengan konektor terpasang (N male di ujung antena jika antena memiliki soket N, SMA male di ujung dongle), karena memasang konektor N sendiri memerlukan tang crimping dan latihan. Perkirakan 10 euro untuk kabel pendek, 30 hingga 60 untuk kabel panjang rugi rendah. Tambahkan **kabel ekstensi USB pendek**, 30 hingga 50 cm, untuk menjauhkan dongle dari Pi: dongle yang dicolokkan langsung ke papan menangkap derau radio dari prosesor itu sendiri dan menghalangi port di sebelahnya.

### Filter dan penguat (opsional, tetapi cara termurah untuk menambah jangkauan)

Jika dongle Anda tidak memiliki filter bawaan, **filter band-pass 1090 MHz** (20 hingga 25 euro, SMA masuk dan keluar) di antara kabel dan dongle menghilangkan sinyal telepon seluler, FM, televisi, dan pager yang juga diterima oleh dongle biasa dan membebaninya secara berlebihan di dekat kota. Lebih baik lagi adalah **penguat derau rendah berfilter** (sekitar 35 euro; RTL-SDR Blog 1090 LNA dan praamplifier Uputronics adalah yang umum), dipasang di ujung antena dari kabel yang panjang: ia memperkuat sinyal sebelum kabel menghilangkannya, dan mendapat daya dari dongle melalui kabel itu sendiri (*bias tee*, yang harus didukung dongle; Blog V4, Pro Stick Plus, dan SMArTee semuanya mendukung). Penguat di ujung Pi dari kabel yang panjang hampir tidak berguna, karena ia memperkuat sinyal yang sudah hilang di kabel.

### Peralatan dan lainnya

Anda memerlukan komputer dengan pembaca kartu SD (atau pembaca kartu USB, 5 euro) untuk menulis kartu memori, kata sandi Wi-Fi router rumah Anda atau port Ethernet kosong beserta kabelnya, dan, untuk antena, ambang jendela, balok loteng, atau tiang pendek dengan dua braket dinding. Untuk antena luar ruangan, tambahkan selotip self-amalgamating untuk menyegel konektor (3 euro), pengikat kabel, dan beberapa meter kabel cadangan untuk membuat lengkungan tetes air. Obeng kecil dan gunting adalah satu-satunya peralatan.

## Rakitan dasar Antena kecil di dalam ruangan, di jendela atau di loteng - 50 hingga 150 km - 150 hingga 200 EUR

| Komponen | Kegunaannya | Beli di Amazon |
|---|---|---|
| **Kit Raspberry Pi 4** Model B dengan 2 atau 4 GB, catu daya resmi, casing berventilasi, dan kartu microSD 32 atau 64 GB, semuanya dalam kit; kit Raspberry Pi 5 bekerja sama baiknya | Mendekode pesan dan menjalankan feeder Dataero | https://radar.dataero.eu/go/pi |
| **Dongle AirNav Radar FlightStick** Radio yang didefinisikan perangkat lunak via USB dengan filter dan penguat 1090 MHz bawaan, soket SMA; FlightAware Pro Stick Plus, selama persediaan masih ada, setara | Mengubah gelombang radio menjadi angka; filter dan penguat bawaan itulah yang memberinya jangkauan di kota | https://radar.dataero.eu/go/sdr |
| **Kabel ekstensi USB, 30 hingga 50 cm** USB 2.0, A male ke A female | Menjauhkan dongle dari derau radio prosesor itu sendiri dan membebaskan port di sebelahnya | https://radar.dataero.eu/go/usb-ext |
| **Antena 1090 MHz kecil dengan dudukan magnetik** Disetel untuk ADS-B, dengan kabelnya sendiri dan colokan SMA male | Menangkap gelombang di jendela; di atas permukaan logam, antena ini mendengar pesawat sejauh 50 hingga 150 km | https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor |

## Rakitan lanjutan Antena luar ruangan pada tiang pendek, untuk jangkauan jauh - 250 hingga 400 km - 300 hingga 420 EUR

| Komponen | Kegunaannya | Beli di Amazon |
|---|---|---|
| **Kit Raspberry Pi 4** Model B dengan 2 atau 4 GB, catu daya resmi, casing berventilasi, dan kartu microSD 32 atau 64 GB, semuanya dalam kit; kit Raspberry Pi 5 bekerja sama baiknya | Mendekode pesan dan menjalankan feeder Dataero | https://radar.dataero.eu/go/pi |

| Komponen | Kegunaannya | Beli di Amazon |
|---|---|---|
| **Dongle AirNav Radar FlightStick**<br>Radio yang didefinisikan perangkat lunak via USB dengan filter dan penguat 1090 MHz bawaan, soket SMA; FlightAware Pro Stick Plus, selama persediaan masih ada, setara | Mengubah gelombang radio menjadi angka; filter dan penguat bawaan itulah yang memberinya jangkauan di kota | https://radar.dataero.eu/go/sdr |
| **Kabel ekstensi USB, 30 hingga 50 cm**<br>USB 2.0, A male ke A female | Menjauhkan dongle dari derau radio prosesor itu sendiri dan membebaskan port di sebelahnya | https://radar.dataero.eu/go/usb-ext |
| **Antena luar ruangan FlightAware 1090 MHz**<br>Kolinear di dalam tabung tahan cuaca, 66 cm, soket N female; A3 dari Jetvision adalah alternatifnya | Dibuat untuk beresonansi tepat pada 27,5 cm dan mengarah ke cakrawala: di luar ruangan, dengan pandangan terbuka, antena ini menjangkau cakrawala radio | https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor |
| **Penguat 1090 MHz berfilter**<br>RTL-SDR Blog ADS-B LNA, Nooelec SAWbird+ ADS-B, atau praamplifier Uputronics, mendapat daya melalui kabel (bias tee) | Dipasang di antena, penguat ini memperkuat sinyal sebelum kabel menghilangkannya | https://radar.dataero.eu/go/lna |
| **Adaptor N male ke SMA male**<br>Di antara soket N antena dan soket SMA penguat | Menghubungkan antena ke penguat | https://radar.dataero.eu/go/adapter |
| **Kabel koaksial rugi rendah, 10 m**<br>LMR-400 atau H1000, SMA male di kedua ujung, dipotong sesuai panjang dengan konektor terpasang | Menyalurkan sinyal dari atap ke dongle dan hanya kehilangan sekitar 1,3 dB per 10 m | https://radar.dataero.eu/go/coax |
| **Tiang pendek dengan braket dinding**<br>Panjang sekitar 1 m, diameter 30 hingga 40 mm, dengan dua braket | Mengangkat antena di atas garis atap, bebas dari dinding dan cerobong asap | https://radar.dataero.eu/go/mount |
| **Selotip self-amalgamating**<br>Satu gulung | Menyegel setiap konektor luar ruangan dari hujan | https://radar.dataero.eu/go/tape |

Sebagai Associate Amazon, Dataero Europe memperoleh penghasilan dari pembelian yang memenuhi syarat melalui tautan ini, tanpa biaya tambahan bagi Anda. Harga, stok, dan pengiriman adalah yang ditampilkan oleh Amazon; komponen yang sama dapat dibeli di toko elektronik mana pun.

**Apa yang tidak perlu dibeli**
Stik televisi seharga 10 euro dengan chip tanpa nama dan konektor MCX (bekerja selama seminggu, frekuensinya bergeser, terlalu panas, dan kehilangan pesan-pesan yang lemah); antena discone 'pita lebar' atau antena radio mobil (tidak beresonansi pada 1090 MHz; bab 8 menjelaskan mengapa panjang itu penting); antena Wi-Fi atau 4G dengan konektor yang tampak cocok (frekuensinya salah); kabel panjang dengan konektor yang harus di-crimp sendiri; pengisi daya ponsel sebagai catu daya; Raspberry Pi bekas yang asal-usulnya tidak jelas dengan kartu yang sudah terpasang di dalamnya.

TEMPAT PEMASANGAN

## Menempatkan antena: ketinggian, langit, dan kabel

Penempatan lebih penting daripada harga. Rumus cakrawala radio dari bab 7, d = 4.12 x (sqrt(h aircraft) + sqrt(h antenna)) dengan ketinggian dalam meter, menyatakan bahwa antena setinggi 2 m di ambang jendela dapat melihat pesawat penumpang pada ketinggian 11 000 m hingga sejauh 438 km, dan antena yang sama di atap setinggi 20 m hanya 13 km lebih jauh. Ketinggian jauh kurang penting dibandingkan apa yang **menghalangi**: dinding, bukit, atap logam, atau bangunan tetangga menghalangi garis pandang sepenuhnya, dan jendela yang membelakangi jalur udara hanya mendengar separuh langit. Jadi pertanyaan pertama bukanlah 'seberapa tinggi' melainkan 'apa yang dapat dilihat antena', dan jawabannya seharusnya: langit seluas mungkin, sampai ke cakrawala, ke sebanyak mungkin arah.

**Di jendela**, letakkan antena di sisi luar kaca jika memungkinkan (di pagar balkon, ditahan magnetnya pada pelat baja), jika tidak di ambang dalam menempel ke kaca; kaca ganda modern dengan lapisan logam melemahkan sinyal secara nyata, dan jendela yang bisa dibuka memudahkan kabel keluar. Pilih jendela yang menghadap bandara terdekat atau jalur udara tersibuk; peta langsung akan memberi tahu Anda yang mana. **Di loteng**, atap genteng atau batu sabak hampir tembus bagi 1090 MHz dan antena dapat melihat ke segala arah; atap logam atau insulasi berlapis foil tidak tembus. Gantungkan antena dari balok, setinggi yang dimungkinkan bubungan, jauh dari tangki air dan kabel listrik. **Di atap**, tiang setinggi satu meter di atas bubungan pada dua braket dinding akan melewati cerobong asap dan rumah tetangga; inilah penempatan yang menjangkau cakrawala radio, dan yang memerlukan kabel tebal atau penguat di antena.

| Kabel | Rugi per 10 m pada 1090 MHz | Sinyal tersisa setelah 10 m | Penggunaan |
|---|---|---|---|
| **RG-174 (2.8 mm)** | sekitar 7 dB | 20 % | di dalam, kurang dari 1 m |
| **RG-58 (5 mm)** | sekitar 5 dB | 30 % | di dalam, 1 hingga 3 m |
| **H155 / LMR-200 (5.5 mm)** | sekitar 3 dB | 50 % | hingga 5 m |
| **LMR-400 / H1000 (10 mm)** | sekitar 1,3 dB | 75 % | jalur atap 10 hingga 20 m |

| Kabel | Rugi per 10 m pada 1090 MHz | Sinyal tersisa setelah 10 m | Penggunaan |
|---|---|---|---|
| **penguat di antena + kabel apa pun** | rugi ditanggung sebelum kabel | hampir semuanya | jalur panjang apa pun |

**Keselamatan**
Jangan pernah menempatkan antena di tempat yang dapat menyentuh atau jatuh ke saluran listrik di atas kepala; letakkan di bawah titik tertinggi atap jika bangunan memiliki penangkal petir, dan jika tidak, ketahuilah bahwa antena plastik kecil pada tiang 1 m tidak menarik petir lebih dari cerobong asap, tetapi cabut dongle saat badai petir. Pekerjaan di atap adalah tugas orang dewasa, pada siang hari, dengan seseorang yang memegangi tangga; loteng atau jendela memberikan 80 % hasilnya tanpa risiko apa pun. Segel setiap konektor luar ruangan dengan selotip self-amalgamating dan biarkan lengkungan pada kabel di bawah titik masuk agar air hujan menetes dan tidak mengalir masuk. Penerima hanya mendengarkan: tidak ada yang memancar di sini.

LANGKAH 1

## Merakit perangkat keras

Perakitan hanyalah menyambungkan konektor ulir; satu-satunya hal yang harus benar adalah mengencangkan masing-masing dengan tangan sampai tidak bisa berputar lagi, tanpa alat, dan menghindari menekuk kabel secara tajam dalam jarak satu telapak tangan dari konektor.

1. Pasang heatsink pada Pi jika kit menyertakannya, masukkan Pi ke dalam casing, dan biarkan tutupnya terbuka untuk sementara.
2. Pasang kabel antena ke antena (N atau SMA, kencangkan dengan tangan), dan jika Anda memakai filter atau penguat terpisah, pasang ke ujung kabel di sisi dongle: antena, kabel, filter atau penguat, dongle, dengan urutan itu. Penguat di antena justru dipasang di antara antena dan kabel.
3. Pasang kabel ke soket SMA dongle. Colokkan dongle ke kabel ekstensi USB dan ekstensinya ke salah satu port USB 3 berwarna biru di Pi (port mana pun bisa; yang biru paling jauh dari antena Wi-Fi).
4. Letakkan antena di tempat yang Anda tentukan di atas dan arahkan kabel dengan lengkungan yang landai. Letakkan dongle di tempat yang mendapat udara; dongle terasa hangat saat disentuh, dan itu normal.
5. Hubungkan kabel Ethernet ke router jika Anda menggunakannya. Jangan colokkan daya dulu: kartu memori harus disiapkan terlebih dahulu.

LANGKAH 2

## Menyiapkan Raspberry Pi

Pi memerlukan sistem operasi di kartu memorinya dan cara agar Anda dapat mengetik perintah ke dalamnya dari komputer Anda sendiri. Keduanya memakan waktu sepuluh menit dan dilakukan dengan mengklik di satu program, **Raspberry Pi Imager**, yang dapat Anda unduh gratis dari situs web Raspberry Pi untuk Windows, macOS, atau Linux.

1. Masukkan kartu microSD ke komputer Anda. Buka Raspberry Pi Imager. Di 'Raspberry Pi Device' pilih model Anda; di 'Operating System' pilih **Raspberry Pi OS (other)**, lalu **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**, versi tanpa desktop, karena penerima tidak pernah memiliki layar; di 'Storage' pilih kartunya.
2. Klik Next dan, ketika Imager menawarkan untuk menerapkan pengaturan kustomisasi OS, klik **Edit settings**. Pada tab General, atur hostname menjadi **adsb** (sehingga Pi menjawab di adsb.local), centang 'Set username and password' dan tentukan keduanya (catatlah), lalu masukkan nama dan kata sandi Wi-Fi Anda beserta negara Anda kecuali Anda memakai kabel Ethernet; atur zona waktu Anda. Pada tab Services, centang **Enable SSH** dengan autentikasi kata sandi. Simpan, lalu konfirmasikan bahwa kartu akan dihapus dan biarkan Imager menulis dan memverifikasinya.
3. Masukkan kartu ke Pi, colokkan catu daya, dan tunggu dua menit: lampu hijau berkedip saat Pi menyala, dan penyalaan pertama lebih lambat.
4. Di komputer Anda, buka terminal: di Windows, PowerShell (cari di menu Start); di Mac, Terminal; di Linux, terminal apa pun. Ketik perintah di bawah dengan nama pengguna yang Anda pilih, tekan Enter, jawab **yes** pada pertanyaan tentang sidik jari (fingerprint), lalu ketik kata sandi Anda (tidak ada yang tampil saat Anda mengetik) dan tekan Enter. Prompt berubah menjadi milik Pi: kini Anda mengetik di penerima.

```
ssh <username>@adsb.local
```

Jika *adsb.local* tidak ditemukan, router Anda tidak meneruskan nama lokal: buka halaman webnya, cari daftar perangkat yang terhubung, catat alamat IP Pi (misalnya 192.168.1.42), dan gunakan alamat itu sebagai pengganti nama. Setelah terhubung, perbarui sistem dan pasang git, alat yang mengunduh feeder; salin barisnya, tempelkan, tekan Enter, dan tunggu. Pembaruan dapat memakan waktu sepuluh menit pada kali pertama.

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y && sudo apt install -y git
```

LANGKAH 3

## Memasang feeder Dataero

Feeder Dataero adalah program kecil bersumber terbuka yang diterbitkan oleh Dataero di GitHub (**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**). Penginstalnya melakukan semua yang dibutuhkan penerima: memasang dekoder (readsb) jika Pi belum memilikinya, mendaftarkan penerima Anda ke Dataero, membuat ID penerima yang unik, menyiapkan layanan yang meneruskan pesan dan menjaga koneksi tetap hidup, dan di akhir memeriksa bahwa Dataero dapat mendengar Anda. Anda dapat membaca setiap barisnya di GitHub sebelum menjalankannya. Tiga perintah, diketik di Pi, satu per satu:

```
git clone https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder
cd dataero-adsb-feeder
sudo bash installer.sh
```

Penginstal mengajukan beberapa pertanyaan. Berikut arti masing-masing dan apa yang harus dijawab.

| Penginstal bertanya | Artinya | Jawaban Anda |
|---|---|---|
| **Do you want to automatically install readsb? (yes/no)** | Tidak ditemukan dekoder di Pi ini; readsb adalah program yang mengubah cuplikan dari dongle menjadi pesan. | Ketik yes, secara lengkap. Jawaban lain akan menghentikan penginstal. Pengunduhan dan kompilasi memakan waktu beberapa menit. |
| **Station name (optional)** | Nama yang ditampilkan bersama penerima Anda di peta dan papan peringkat. | Nama singkat: nama kota Anda dan satu kata, atau nama sekolah. Nama ini dapat diubah nanti dengan menjalankan penginstal lagi. |
| **Enable MLAT for this receiver? (y/N)** | Multilaterasi (bab 10): pewaktuan penerima Anda membantu menentukan lokasi pesawat yang tidak mengirimkan posisi. Ini memerlukan posisi antena yang tepat. | n untuk pemasangan pertama, atau y jika Anda dapat memberikan posisi antena dengan ketelitian beberapa meter. |
| **Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)** | Lokasi antena. Wajib dengan MLAT, opsional jika tidak; digunakan untuk peta cakupan dan statistik jangkauan Anda. | Derajat desimal dengan titik (50.8467, 4.3525), ketinggian di atas permukaan laut dalam meter: elevasi tanah di alamat Anda ditambah tinggi antena di atas tanah. |

Untuk menemukan posisinya, buka peta daring apa pun, klik kanan titik tepat antena, dan salin koordinatnya; sebagian besar peta menampilkan enam desimal, yaitu ketelitian sepersepuluh meter. Elevasi tanah tersedia di peta topografi atau di kolom 'elevasi' aplikasi GPS; tambahkan tinggi antena di atas tanah (jendela lantai dua sekitar 6 m, bubungan atap rumah dua lantai sekitar 9 m). Ketinggian yang ditunjukkan ponsel sering meleset sepuluh atau dua puluh meter, jadi gunakan peta untuk tanah dan meteran untuk sisanya. Jangan mengaktifkan MLAT dengan posisi tebakan: penerima yang pewaktuannya berkata 'saya di sini' padahal berada di tempat lain akan merusak setiap solusi yang diikutinya.

Penginstal kemudian bekerja selama beberapa menit dan selesai dengan banner yang diawali **Installation complete**. Banner itu menampilkan **ID penerima** Anda, kode panjang berupa huruf dan angka (UUID), hub Dataero tempat stasiun Anda terhubung, dan hasil kontak pertama dengan Dataero: ketika registrar menerima heartbeat penerima, stasiun Anda sudah aktif. ID penerima adalah kunci stasiun Anda: ID ini menyertai setiap pesan dan itulah yang Anda tempelkan ke akun Anda untuk mengklaimnya. Simpan untuk diri sendiri, karena akun pertama yang menautkannya akan menjadi pemilik penerima. Jika suatu saat Anda kehilangannya, ID ini tersimpan di Pi:

```
sudo grep RECEIVER_UUID /usr/local/dataero-adsb-feeder/.env
```

**Apa yang tetap berjalan setelah penginstal selesai**
Tiga layanan kecil yang menyala sendiri setiap kali perangkat dinyalakan: *readsb*, dekoder, yang juga menyajikan peta lokal; *dataero-readsb*, instans dekoder kedua khusus jaringan yang meneruskan aliran pesan Anda yang telah dikurangi ke hub Dataero; dan *dataero-feeder*, heartbeat yang memberi tahu Dataero bahwa stasiun Anda hidup. Dengan MLAT aktif, ada layanan keempat, *dataero-mlat*. Menjalankan penginstal lagi nanti akan mempertahankan ID penerima, nama, dan posisi Anda dan hanya memperbarui apa yang berubah.

LANGKAH 4

## Mulai mengudara, dan mengklaim penerima Anda

Dalam satu menit setelah banner muncul, pesawat pertama seharusnya terlihat. Periksa di tiga tempat. Di Pi itu sendiri, perintah di bawah menampilkan tabel langsung setiap pesawat yang sedang didekode, dengan alamat, tanda panggil (call sign), ketinggian, kecepatan, dan kekuatan sinyal dalam dBFS; tekan **q** untuk keluar. Penginstal readsb juga menyiapkan peta lokal di Pi, **http://adsb.local/tar1090** (atau alamat IP sebagai pengganti nama), yang menampilkan pandangan langit dari stasiun Anda sendiri dengan cincin jangkauan. Dan di **radar.dataero.eu**, peta publik, pesawat yang didengar stasiun Anda digambar bersama data dari semua orang dalam hitungan detik.

```
viewadsb
```

Penerima Anda sudah mengirim data, secara anonim. **Mengklaim** penerima akan menautkannya ke akun Anda dan membuka bagian situs khusus feeder: buka radar.dataero.eu, buat akun gratis atau masuk, buka **Penerima** di menu akun, pilih **Tautkan penerima**, dan tempelkan ID penerima yang ditampilkan penginstal. Gunakan ID penerima Dataero, bukan UUID dari program feeder lain jika Anda menjalankannya. Sejak saat itu stasiun Anda memiliki nama di peta, **dasbor** (pesawat yang terlihat, pesan per detik, jam-jam tersibuk, pesawat paling langka), **peta cakupan** yang digambar dari kekuatan sinyal setiap pesan dalam dua dan tiga dimensi, **riwayat penerbangan 365 hari** alih-alih tanpa riwayat seperti pengunjung, dan peringkat di **papan peringkat**. Semua yang terkumpul sebelum Anda mengklaimnya sudah ada di sana.

Apa yang dapat diharapkan pada malam pertama: di jendela dengan antena dari kotak, 20 hingga 60 pesawat sekaligus di wilayah Eropa yang sibuk, hingga 100 atau 150 km, dengan celah di sisi bangunan; dengan antena yang disetel di loteng, 100 hingga 200 pesawat hingga 250 km; di atap, 200 hingga 400 pesawat dan jangkauan yang menyentuh 400 km ke arah yang tidak terhalang apa pun. Penghitung pesan di dasbor adalah ukuran yang lebih baik daripada jangkauan: stasiun yang baik mendekode 500 hingga 1 500 pesan per detik pada puncak siang hari di Eropa dan beberapa lusin pada dini hari. Kurva sepanjang hari adalah pelajaran 4 dari kursus yang dapat dilihat: pesawat tidak terbang di malam hari karena orang tidak bepergian di malam hari.

**Buka peta langsung** `https://radar.dataero.eu/id/map`

**Buat akun dan klaim** `https://radar.dataero.eu/id/contribute`

LANGKAH 5

## Penyetelan, dan memahami apa yang Anda lihat

Dua pengaturan menentukan sebagian besar kinerja stasiun, dan keduanya dapat diubah dalam sekejap di Pi. Yang pertama adalah **gain**, seberapa besar dongle memperkuat sinyal sebelum mendigitalkannya. readsb mulai dengan gain otomatis, yang merupakan kompromi yang wajar. Jika pesawat di atas kepala menghilang sementara yang jauh tetap ada, penerima kelebihan beban oleh sinyal kuat di dekatnya dan gain terlalu tinggi; jika pesawat yang jauh tidak pernah muncul, gain terlalu rendah. Perintah di bawah menetapkan gain tetap dalam dB; coba nilai antara 30 dan 49 (49,6 adalah maksimum dongle) dan

amati jumlah pesawat serta jangkauan maksimum di peta lokal selama sepuluh menit untuk setiap nilai. Dengan dongle yang memiliki penguat sendiri, 40 hingga 45 biasanya terbaik di jendela dan lebih rendah di atap. Mengetik nilai -10 akan kembali ke mode otomatis.

```
sudo readsb-gain 43
```

Yang kedua adalah **lokasi peta lokal**, yang digunakan readsb untuk menggambar cincin jangkauan dan menghitung jarak setiap pesawat; lokasi ini terpisah dari posisi yang Anda berikan ke penginstal Dataero (yang digunakan oleh Dataero) dan diatur dengan perintah kedua. Kemudian buka peta lokal dan amati garis batas pesawat terjauh meluas sepanjang hari: garis batas itu adalah cakrawala radio Anda, dan bentuknya adalah bentuk penghalang-penghalang Anda.

```
sudo readsb-set-location 50.8467 4.3525
```

Kolom sinyal di *viewadsb* adalah hukum kuadrat terbalik dari bab 6 dalam bentuk angka. Pesawat yang melintas di atas kepala pada 10 km tercatat sekitar -5 dBFS; pesawat yang sama pada 300 km, tiga puluh kali lebih jauh, tiba sembilan ratus kali lebih lemah, sekitar -30 dBFS, dan dekoder masih dapat membacanya karena pesan hanya perlu lebih kuat daripada derau. Amati sinyal sebuah pesawat naik dan turun saat melintasi langit Anda, dan Anda telah mengukur hukum itu tanpa rumus. Kolom pesan yang hilang, jika nilainya tinggi, menunjukkan hal sebaliknya: sinyal kuat dari dua pesawat yang tiba pada saat yang sama saling mengacaukan, yaitu batas yang dijelaskan di bab 11 dan alasan penerima kedua yang berjarak tiga puluh kilometer dapat melihat pesan yang hilang dari Anda.

Jika Anda mengaktifkan **MLAT**, pesawat yang posisinya ditentukan dengan multilaterasi muncul di peta Dataero dan kembali ke peta lokal Anda dengan penanda khusus. Inilah pesawat yang tidak mengirimkan posisinya sendiri: jet bisnis lama, pesawat angkut militer, beberapa helikopter. Kontribusi Anda untuk masing-masing adalah stempel waktu dengan ketelitian beberapa nanodetik, dari situ hub menyelesaikan hiperbola dari bab 10 bersama tiga stasiun lain. Posisi antena yang salah hanya 30 m menggeser pewaktuan Anda sepersepuluh mikrodetik, cukup untuk menempatkan pesawat hasil perhitungan sejauh satu kilometer dari posisi sebenarnya; itulah sebabnya penginstal bersikeras.

JIKA TIDAK BERHASIL

## Pemecahan masalah

Hampir setiap masalah termasuk salah satu yang ada di tabel di bawah, dan masing-masing memiliki pemeriksaan satu baris. Perintah dijalankan di Pi, melalui koneksi terminal yang sama dengan saat pemasangan.

| Gejala | Penyebab paling mungkin | Apa yang harus dilakukan |
|---|---|---|
| **ssh tidak dapat menemukan adsb.local** | Router tidak menerjemahkan nama lokal, atau Pi tidak terhubung ke jaringan. | Gunakan alamat IP dari daftar perangkat router. Jika Pi tidak tercantum, periksa detail Wi-Fi yang Anda ketik di Imager, atau gunakan kabel Ethernet. |

| Gejala | Penyebab paling mungkin | Apa yang harus dilakukan |
|---|---|---|
| **readsb tidak mau mulai; 'no device found'** | Dongle tidak terdeteksi: kabel USB longgar, catu daya terlalu lemah, atau dongle bukan RTL-SDR. | Pasang ulang dongle dan ekstensinya; jalankan lsusb dan cari 'RTL2838' atau 'Realtek'; ganti catu daya dengan yang resmi. |
| **readsb berjalan tetapi tidak menampilkan pesawat** | Antena tidak terhubung, ada konektor kabel yang terbuka, atau antena berada di bayangan radio. | Pastikan setiap konektor kencang; pindahkan antena ke jendela dengan langit terbuka; dongle biasa tanpa filter di kota mungkin memerlukan filter. |
| **Pesawat di dekat menghilang, yang jauh tetap ada** | Kelebihan beban: gain terlalu tinggi, atau ada pemancar kuat di dekatnya. | Turunkan gain (readsb-gain 35), tambahkan filter 1090 MHz. |
| **Pesawat ada di peta lokal tetapi tidak di radar.dataero.eu** | Layanan feeder tidak berjalan atau Pi tidak memiliki internet. | Jalankan perintah status di bawah; layanan yang ditampilkan sebagai 'failed' memberi tahu penyebabnya di log-nya. Jalankan penginstal lagi: penginstal memperbaiki konfigurasi dan mempertahankan ID Anda. |
| **Pi menyala ulang atau dongle menghilang secara acak** | Daya. Dongle menarik sepertiga ampere; catu daya yang lemah menurunkan tegangan. | Gunakan catu daya resmi; lepaskan perangkat USB lain; pastikan lampu daya merah tetap menyala stabil. |
| **'Receiver not found' saat mengklaim** | UUID yang ditempelkan berbeda (dari program feeder lain, atau salah ketik). | Tempelkan nilai yang ditampilkan oleh perintah grep pada langkah 3; itulah ID penerima Dataero. |

```
sudo systemctl status readsb dataero-readsb dataero-feeder
sudo journalctl -u dataero-feeder -n 50
```

Jika semua ini tidak membantu, buka issue di halaman GitHub feeder dengan keluaran dari kedua perintah tersebut: orang-orang yang menulis penginstal membacanya. Dataero juga mengelola kanal komunitas yang ditautkan dari halaman Jadi feeder, tempat feeder lain menjawab sebagian besar pertanyaan dalam hitungan jam.

SESUDAHNYA

## Menjaga agar tetap berjalan

Penerima hampir tidak memerlukan apa pun. Layanan menyala sendiri setelah listrik padam; Pi tidak memiliki bagian yang bergerak; dongle bertahan bertahun-tahun. Sekali setiap musim, sambungkan ke Pi dan jalankan lagi baris pembaruan dari langkah 2, lalu jalankan lagi penginstal dari folder tempat ia diunduh (*cd dataero-adsb-feeder* lalu *sudo bash installer.sh*): penginstal mengambil feeder terbaru, mempertahankan ID penerima, nama, dan posisi Anda, dan mengajukan pertanyaan yang sama dengan jawaban Anda sebelumnya sebagai nilai bawaan. Jika Anda memindahkan antena, jalankan penginstal lagi dan berikan posisi yang baru; jika Anda pindah rumah, lakukan hal yang sama dan tidak ada lagi yang berubah. Jika suatu saat Anda ingin berhenti, folder yang sama berisi program pencopot pemasangan.

Dua kebiasaan menjaga stasiun tetap sehat. Lihat dasbor seminggu sekali: laju pesan yang turun separuh dalam semalam berarti ada kabel yang longgar atau ada pohon yang tumbuh. Dan catat, pada hari pertama, tiga angka dari peta lokal: jangkauan maksimum ke setiap arah, jumlah pesawat pada puncak malam hari, dan laju pesan. Itulah acuan dasar Anda, dan setiap perubahan yang Anda buat sesudahnya, antena yang lebih baik, tiang yang lebih tinggi, sebuah filter, diukur terhadapnya. Pengukuran itulah ilmu pengetahuan yang dituju oleh kursus ini.

UNTUK KELAS ATAU KELUARGA

## Menjadikan penerima sebuah proyek

Penerima adalah instrumen permanen, dan cara terbaik menggunakannya adalah serangkaian pengukuran yang masing-masing menguji satu gagasan dari kursus. Bagi keluarga, satu di antaranya mengisi hari Minggu; bagi kelas, masing-masing adalah satu pelajaran, dan data yang dikumpulkan stasiun di antara pelajaran adalah pekerjaan rumahnya. Grafik per jam di dasbor, peta cakupan, dan garis batas jangkauan di peta lokal adalah instrumennya; pelajaran memberikan prediksinya; pengukuranlah yang memutuskan.

1. **Ketinggian terhadap jangkauan** (bab 7). Catat jangkauan maksimum dengan antena di atas meja, di jendela lantai satu, di jendela lantai teratas, di loteng. Buat grafik jangkauan terhadap ketinggian dan bandingkan dengan rumus cakrawala radio; selisihnya adalah penghalang.
2. **Hukum kuadrat terbalik** (bab 6). Ikuti satu pesawat melintasi langit di viewadsb dan catat sinyal terhadap jarak setiap menit; buat grafik sinyal dalam dB terhadap logaritma jarak; kemiringannya seharusnya mendekati -20 dB per dekade.
3. **Ritme harian** (pelajaran 4). Baca laju pesan setiap jam selama seminggu dari dasbor. Jelaskan bentuknya: gelombang pagi, puncak malam, jam malam penerbangan di bandara terdekat, perbedaan antara hari kerja dan hari Minggu.
4. **Di mana langit berakhir**. Jiplak garis batas jangkauan di peta lokal setelah seminggu dan tumpangkan di atas peta wilayah. Setiap lekukan adalah bangunan, bukit, atau pohon; sebutkan namanya.
5. **Peta hanya sebaik para pendengarnya** (bab 11). Bandingkan peta cakupan stasiun Anda dengan peta publik pada suatu malam: pesawat yang tidak Anda dengar didengar oleh orang lain. Temukan stasiun lain terdekat di papan peringkat dan hitung, dengan rumus, di mana lingkaran Anda saling tumpang tindih.

Di sekolah, penerima juga menjawab pertanyaan yang selalu diajukan setiap kelas, 'pesawat apa itu?', dengan layar di koridor yang menampilkan peta lokal. Daftar 'pesawat paling langka' di dasbor adalah kejutan bulanan: pesawat angkut pemerintah, pesawat penumpang antik, ambulans udara, masing-masing sebuah cerita tentang mengapa ia ada di sana. Dan stasiun sekolah yang mengirim data ke Dataero muncul di peta publik dengan nama sekolah sebagai sumbernya, jenis ketenaran yang lebih baik daripada kebanyakan.

SELAMAT DATANG

## Apa yang didapat feeder, dan apa yang didapat peta dari Anda

Pengunjung radar.dataero.eu melihat peta langsung, jumlah pesawat yang dibatasi, dan beberapa kolom data per pesawat, untuk sesi tontonan sepuluh menit setiap kalinya. Akun gratis menghapus batas sesi, menampilkan setiap kolom, dan menyimpan riwayat penerbangan tujuh hari. Seorang feeder, yaitu Anda sekarang, mendapatkan seluruh situs: riwayat 365 hari untuk setiap penerbangan, dasbor, peta cakupan dalam dua dan tiga dimensi, papan peringkat, dan stasiun yang disebut di peta. Semuanya tidak dikenai biaya, sekarang maupun nanti, dan penerima tetap mengirim data ke jaringan lain mana pun yang Anda pilih untuk ditambahkan.

Apa yang didapat peta dari Anda adalah hal yang tidak bisa dibeli dengan uang: pendengar di tempat yang sebelumnya tidak ada. Setiap penerima di jaringan mendengar sebuah lingkaran langit, dan sebuah benua hanya tercakup di tempat lingkaran-lingkaran itu saling tumpang tindih. Stasiun baru di sebuah celah, sebuah desa, sebuah pesisir, sebuah lembah, sebuah negara dengan sedikit feeder, memunculkan pesawat yang sebelumnya tidak didengar siapa pun dan memungkinkan multilaterasi untuk pesawat yang tidak mengirimkan posisi. Lihat cakupan wilayah Anda di peta malam ini, lalu lihat lagi seminggu setelah stasiun Anda aktif: perbedaannya adalah milik Anda.

**Jadi feeder** `https://radar.dataero.eu/id/contribute`

**Buka peta langsung** `https://radar.dataero.eu/id/map`

**Kembali ke beranda kursus** `https://radar.dataero.eu/id/learning`