# TRESNO V2 — Dokumen Produk & Rancangan Teknis

*Tracking Based on Smart GPS Technology untuk kawasan rawan bencana Merapi*

## Ringkasan Eksekutif

TRESNO adalah sistem navigasi dan pelacakan dua arah berbasis **LoRa + GNSS** untuk membantu pengawasan dan penyelamatan di kaki Gunung Merapi. Versi 2 (TRESNO V2) mengatasi keterbatasan V1 melalui arsitektur **LoRa mesh berbasis peran (role‑based)**—**Navigator** (pengunjung), **Relay** (penguat jangkauan), dan **Gateway** (basecamp). Sistem ini memungkinkan **pengunjung mendapat arah kembali ke basecamp**, **relawan memantau posisi pengunjung**, serta **pelaksanaan pencarian** tanpa bergantung pada internet atau infrastruktur Wi‑Fi yang mahal.

## 1) Latar Belakang & Masalah

* **Situasi:** Kawasan pengawasan meliputi area wisata hutan pinus dan jalur pencarian pakan ternak, dengan medan berbukit, pepohonan rapat, dan jalur tempuh tidak rata.
* **Kendala Lapangan:**
  + Pengunjung kerap **tidak turun sebelum pukul 18.00** dan berisiko tersesat/tertahan gelap.
  + **Relawan terbatas** dan rawan kelelahan saat melakukan pencarian manual.
  + **Komunikasi konvensional (HT)** terbatas jangkauan dan hanya antar‑relawan; tidak menyediakan lokasi pengunjung secara langsung.
* **Dampak:**
  + Pencarian sulit, memakan waktu, dan berbahaya bagi pengunjung maupun relawan.
  + Pernah terjadi insiden kehilangan nyawa.

**Kebutuhan inti:** Sistem yang **tangguh**, **minim infrastruktur**, dan **andal** untuk **navigasi dua arah** serta **pemantauan lokasi real‑time** tanpa internet.

## 2) Rekap TRESNO V1 (Sejarah & Pelajaran)

**Arsitektur V1:**

* **Mobile tracker** (±5×5×4 cm): GNSS u‑blox Neo‑6M, LoRa RA‑02 (SX1278), OLED 0,96″, sensor suhu/kelembaban, baterai Li‑ion 123 (kapasitas tak diketahui), charger TP4056.
* **Basecamp station:** Antena yagi sudut beam 90°, Raspberry Pi + layar sentuh untuk webapp, UPS portable.

**Temuan/Kendala:**

* **Jangkauan hanya 200–400 m** (non‑LOS, banyak obstruksi).
* **Kelembaban & debu** mengganggu elektronik.
* **Daya:** baterai cepat habis; pengisian lambat, proteksi minim.
* **Minim dokumentasi:** membuat relawan/operator kebingungan.
* **Toubleshooting:** sulit dilakukan oleh orang awam.
* **Outcome:** Tidak memenuhi kebutuhan operasional; **tidak dipakai relawan**.

**Pelajaran:** Diperlukan arsitektur **multi‑hop (mesh)**, **ketahanan lingkungan**, **manajemen daya** yang jauh lebih baik, dokumentasi dan pengujian yang lengkap, serta **alat analisis kinerja** untuk mempercepat troubleshooting.

## 3) Visi & Sasaran TRESNO V2

**Visi:** Menyediakan **jalur pulang yang jelas** bagi pengunjung dan **visibilitas posisi** bagi relawan dalam kondisi minim infrastruktur.

**Sasaran Terukur (KPI):**

* **Cakupan efektif:** ≥ 3 km (non‑LOS bertingkat) melalui kombinasi **relay**.
* **Keandalan pesan (PDR):** ≥ 90% untuk beacon lokasi periodik di jaringan mesh.
* **Waktu dari SOS ke alarm gateway:** ≤ 30 detik pada kondisi mesh nominal.
* **Daya tahan Navigator:** ≥ 24 jam operasional **(profil campuran: tracking, navigasi layar, sleep)** dengan baterai 3600 mAh.
* **Ketahanan lingkungan:** perlindungan setara **IP‑rating fungsional** melalui desain casing minim lubang + **conformal coating** pada PCB.

## 3a) KPI Terukur (Definisi, Perhitungan, Ambang)

Di bawah ini adalah himpunan KPI yang praktis dan bisa langsung diturunkan dari data yang sudah tersedia (throughput, link margin, PER/Loss %, latensi per hop, RSSI/SNR per hop). Untuk tiap KPI dicantumkan definisi singkat, cara hitung, serta tiga tingkat target: **Good / Target / Stretch**.

### KPI Inti (Network‑level)

1. **PDR End‑to‑End (PDR\_e2e)**  
   **Definisi:** Persentase paket Navigator yang tiba di Gateway (apa pun jumlah hop).  
   **Hitung:** PDR\_e2e = 1 − PER\_e2e (PER\_e2e dari Loss%).  
   **Ambang:** **≥85% / ≥90% / ≥95%**.
2. **Latensi End‑to‑End (p50/p95/p99)**  
   **Definisi:** t\_rx\_gateway − t\_tx\_nav.  
   **Ambang (beacon periodik):** **≤10 s / ≤5 s / ≤3 s**.  
   **Ambang (SOS):** **≤45 s / ≤30 s / ≤15 s**.
3. **Cakupan Efektif Multi‑hop**  
   **Definisi:** Jarak max Nav→GW dengan **PDR\_e2e ≥ 90%** dan **p95 latensi SOS ≤ 30 s**.  
   **Ambang:** **≥2 km / ≥3 km / ≥4 km** (dengan penempatan relay tepat).
4. **Keandalan SOS**  
   **Definisi:** Persentase event SOS yang memicu alarm Gateway + latensinya.  
   **Hitung:** (SOS\_terdeteksi / SOS\_dikirim), dan p95 latensi SOS.  
   **Ambang:** **≥99%**, **p95 ≤ 30 s** (Target).
5. **Link‑Margin Minimum per Rute (p5)**  
   **Definisi:** Persentil ke‑5 *link margin* terendah di semua hop rute e2e.  
   **Hitung:** LM = RxPower(dBm) − Sensitivitas(dBm) sesuai profil SF/BW/CR LLCC68.  
   **Ambang:** **≥ +3 dB / ≥ +6 dB / ≥ +10 dB** (p5).  
   *Jika tabel sensitivitas belum dipetakan, gunakan pendekatan:* **SNR p5 ≥ SNR\_min(SF)+6 dB**.
6. **Efisiensi Flooding (Redundancy Factor)**  
   **Definisi:** Rata‑rata jumlah transmisi radio (termasuk relay & duplikat) per satu paket e2e sukses.  
   **Hitung:** total\_tx\_radio / delivered\_e2e (butuh log TX dari relay).  
   **Ambang:** **≤6 / ≤4 / ≤2.5** (lebih kecil lebih efisien).
7. **Stabilitas Rute**  
   **Definisi:** Frekuensi perubahan rute utama per jam (*route‑change rate*).  
   **Hitung:** Deteksi perubahan *next‑hop* dominan sepanjang waktu.  
   **Ambang:** **≤6/jam / ≤3/jam / ≤1/jam**.
8. **Throughput Efektif End‑to‑End (Goodput)**  
   **Definisi:** Laju payload bersih yang diterima Gateway.  
   **Hitung:** bit payload bersih per detik; opsional dinormalisasi terhadap kapasitas PHY profil yang dipakai.  
   **Ambang relatif:** **≥15% / ≥25% / ≥35%** dari kapasitas bersih profil (gunakan sebagai indikator kapasitas, bukan patokan regulasi duty‑cycle).

### KPI Per‑Hop (Diagnostik & Tuning)

1. **Latensi per Hop (p95)**  
   **Ambang:** **≤2 s / ≤1 s / ≤0.5 s** per hop.
2. **RSSI & SNR per Hop (p5)**  
   **Ambang umum:** RSSI p5 ≥ **−112 dBm** (konservatif Sub‑GHz), SNR p5 ≥ **SNR\_min(SF)+6 dB**.  
   **Catatan:** Lebih representatif menggunakan **link‑margin p5** (lihat KPI #5).
3. **PER per Hop (PER\_hop)**  
   **Ambang:** **≤10% / ≤5% / ≤2%**.

### KPI Operasional & Energi

1. **Kepatuhan Interval Beacon (On‑Time Rate)**  
   **Definisi:** Persentase beacon yang tiba ≤ **1.5×** periode yang diatur.  
   **Ambang:** **≥85% / ≥92% / ≥98%**.
2. **Daya Tahan Navigator (Profil Campuran)**  
   **Ambang:** **≥18 jam / ≥24 jam / ≥36 jam** (baterai 3600 mAh).
3. **Energi per Paket Sukses (mWh/packet)**  
   **Hitung:** (ΔmAh × V) / packets\_delivered\_e2e.  
   **Ambang:** **≤2.0 / ≤1.0 / ≤0.5 mWh** (indikatif; kalibrasi setelah uji awal).
4. **Uptime Relay & Gateway**  
   **Ambang bulanan:** **≥99.0% / ≥99.5% / ≥99.9%**.
5. **Waktu Pemulihan (Recovery Time)**  
   **Definisi:** Dari gangguan lokal (node restart/link drop) hingga jaringan kembali **PDR\_e2e ≥ 90%**.  
   **Ambang:** **≤60 s / ≤30 s / ≤15 s**.

### KPI Kapasitas & Skala

1. **Jumlah Navigator Serentak (PDR\_e2e ≥ 90%)**  
   **Ambang awal:** **≥10 / ≥20 / ≥30** node (disesuaikan duty‑cycle/regulasi).
2. **Waktu Penemuan Rute (Route Discovery Time)**  
   **Ambang:** **≤30 s / ≤15 s / ≤7 s**.
3. **Burst‑Loss (Mean Burst Length)**  
   **Ambang:** **≤3 / ≤2 / ≤1** paket hilang beruntun.

### Mengaitkan KPI dengan Dataset yang Ada

* **PER/Loss % →** langsung untuk **PDR\_e2e**, **PER\_hop**, dan **burst‑loss**.
* **Latency per hop →** agregasi ke **latensi e2e** dan **p95 per hop**.
* **RSSI/SNR per hop →** turunkan **link‑margin p5** (butuh lookup sensitivitas LLCC68 per SF/BW/CR).
* **Throughput →** tampilkan **goodput e2e** sebagai indikator kapasitas.
* **Timestamps →** ukur **on‑time rate**, **route discovery time**, **recovery time**, dan **SOS latency**.
* **Counter TX relay (jika ada) →** hitung **redundancy factor**.

**Rekomendasi dashboard:** tampilkan **p50 & p95**, bukan hanya rata‑rata; gunakan kode warna hijau/kuning/merah dengan ambang sesuai daftar di atas. Untuk tren, gunakan window 1–5 menit agar adaptif terhadap perubahan kondisi.

### Paket KPI Minimum vs Lanjutan

* **Minimum (Go/No‑Go lapangan):** PDR\_e2e, p95 latensi SOS, link‑margin p5, cakupan efektif, daya tahan Navigator.
* **Lanjutan (optimasi mesh):** redundancy factor, route‑discovery time, stabilitas rute, burst‑loss, energi per paket.

### 3b) Tabel KPI (Siap Slide)

**Legenda:** ↑ lebih besar lebih baik · ↓ lebih kecil lebih baik.

#### Tabel A — KPI Inti (Network‑Level)

| # | KPI | Definisi/Rumus singkat | Good | Target | Stretch |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | PDR\_e2e ↑ | 1 − PER\_e2e | ≥85% | ≥90% | ≥95% |
| 2a | Latensi E2E p95 (Beacon) ↓ | t\_rx\_gw − t\_tx\_nav | ≤10 s | ≤5 s | ≤3 s |
| 2b | Latensi E2E p95 (SOS) ↓ | t\_rx\_gw − t\_tx\_nav (paket SOS) | ≤45 s | ≤30 s | ≤15 s |
| 3 | Cakupan efektif ↑ | Jarak max dgn PDR\_e2e ≥90% & SOS p95 ≤30 s | ≥2 km | ≥3 km | ≥4 km |
| 4 | Keandalan SOS ↑ | SOS terdeteksi / SOS dikirim | ≥99.0% | ≥99.5% | ≥99.9% |
| 5 | Link‑margin p5 ↑ | Rx(dBm) − Sensitivitas(dBm) | ≥+3 dB | ≥+6 dB | ≥+10 dB |
| 6 | Redundancy factor ↓ | total\_tx\_radio / delivered\_e2e | ≤6 | ≤4 | ≤2.5 |
| 7 | Stabilitas rute ↑ | 1/(perubahan rute/jam) → lebih stabil | ≤6/jam | ≤3/jam | ≤1/jam |
| 8 | Goodput e2e ↑ | payload bersih per detik | ≥15% cap | ≥25% cap | ≥35% cap |

*Catatan:* “cap” = estimasi kapasitas bersih profil PHY (SF/BW/CR) yang digunakan.

#### Tabel B — KPI Per‑Hop, Operasional & Skala

| # | KPI | Definisi/Rumus singkat | Good | Target | Stretch |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 9 | Latensi per hop p95 ↓ | waktu simpan‑terus per hop | ≤2 s | ≤1 s | ≤0.5 s |
| 10 | RSSI p5 ↑ | level terburuk 5% | ≥−112 dBm | ≥−108 dBm | ≥−104 dBm |
| 10b | SNR p5 margin ↑ | SNR p5 − SNR\_min(SF) | ≥+4 dB | ≥+6 dB | ≥+8 dB |
| 11 | PER\_hop ↓ | error/total per hop | ≤10% | ≤5% | ≤2% |
| 12 | On‑Time Rate ↑ | beacon tiba ≤1.5× periode | ≥85% | ≥92% | ≥98% |
| 13 | Daya tahan Navigator ↑ | jam operasi skenario campuran | ≥18 jam | ≥24 jam | ≥36 jam |
| 14 | Energi/packet ↓ | (ΔmAh×V)/pkt sukses | ≤2.0 mWh | ≤1.0 mWh | ≤0.5 mWh |
| 15 | Uptime Relay/GW ↑ | ketersediaan bulanan | ≥99.0% | ≥99.5% | ≥99.9% |
| 16 | Recovery time ↓ | pulih ke PDR\_e2e ≥90% | ≤60 s | ≤30 s | ≤15 s |
| 17 | Navigator simultan ↑ | node aktif dgn PDR\_e2e ≥90% | ≥10 | ≥20 | ≥30 |
| 18 | Route discovery time ↓ | temukan rute baru | ≤30 s | ≤15 s | ≤7 s |
| 19 | Mean burst loss ↓ | panjang hilang beruntun | ≤3 pkt | ≤2 pkt | ≤1 pkt |

Untuk implementasi dashboard: tampilkan p50/p95 & gunakan warna hijau/kuning/merah sesuai ambang, serta window 1–5 menit untuk smoothing.

## 4) Solusi Teknis V2 (Ringkasan)

* **LoRa Mesh Berbasis Peran:**
  + **Navigator** (dibawa pengunjung) – mengirim lokasi berkala, navigasi balik (trace‑back), tombol **SOS**, dan dapat bertindak sebagai forwarder oportunistik.
  + **Relay** (titik strategis) – meneruskan pesan menuju gateway atau antar‑relay.
  + **Gateway** (basecamp) – konsolidasi data, alarm SOS, analitik link & replay di webapp.
* **Routing:** AODV sederhana yang disesuaikan untuk LoRa, memanfaatkan **controlled flooding** terarah. Rencana kombinasi *Sequence Number Controlled Flooding* (**SNCF**), *Reverse Path Forwarding* (**RPF**), dan *Level‑Based Flooding* (**LBF**); subset paling aplikatif akan dipilih setelah uji.
* **Antena & Penempatan:**
  + Navigator: **omni PCB pigtail 5 dBi** di sisi casing.
  + Relay: **flower‑pot ~6,1 dBi** pada tiang 3 m dengan tiga kawat penahan.
  + Gateway: **yagi** beam 90° diarahkan ke relay terdekat (target hop awal ~1 km).
* **Konektivitas Gateway:** Unit penerima LoRa → UART → **RS485** → RJ45 → Ethernet Cat5e ke ruang basecamp; power berbagi pada kabel yang sama dengan penurun (buck) di ujung.
* **Aplikasi Web (Raspberry Pi host):** Peta live, alarm SOS, jejak rute, analitik mesh & link, serta penyimpanan pelacakan kasus.

## 5) Arsitektur Sistem (Gambaran Umum)

1. **Layer Perangkat:** Navigator ↔ Relay ↔ Gateway (*multi‑hop*).
2. **Layer Komunikasi Radio:** LoRa Sub‑GHz, parameter adaptif (SF/BW/CR) sesuai profil.
3. **Layer Routing:** AODV adaptasi + controlled flooding (SNCF/RPF/LBF – selektif).
4. **Layer Transport Lokal:** UART/RS485 untuk jarak dari tiang antena ke ruang base.
5. **Layer Aplikasi:** Webapp di Raspberry Pi, akses via smartphone lokal (hotspot/SSID khusus).

**Alur Operasi Utama:**

* Navigator mengirim **beacon lokasi berkala** + status (baterai, SOS, dsb.).
* Relay meneruskan paket (aturan role‑based/heuristik kualitas link).
* Gateway mengagregasi, menampilkan peta & metrik, dan membunyikan buzzer saat SOS.
* Untuk navigasi balik, Navigator menampilkan **arah ke basecamp/rute balik** (trace‑back).

## 6) Desain Perangkat

### 6.1 Navigator (dibawa pengunjung)

**Target dimensi:** 10 × 8 × 2 cm.

**Komponen kunci:**

* **MCU:** ESP32‑S3.
* **Radio:** LoRa Ebyte E220‑400T22D (LLCC68).
* **GNSS:** u‑blox M10.
* **Display:** TFT 3,5″ **touchscreen**.
* **Waktu:** RTC DS3231.
* **Penyimpanan:** microSD card.
* **Daya:** IP5306/FM5324GA (pengisian & pengosongan) + **soft‑latch power button**.
* **Sensor:** MPU9250 (IMU), BMP280 (baro), SHT30‑D (suhu/kelembaban).
* **I/O:** Buzzer aktif, USB‑C.
* **Upload Firmware:** via jig khusus (pad terpadu di PCB).
* **Antena:** omni PCB pigtail 5 dBi (eksternal, sisi casing).

**Fitur perangkat lunak:**

* Beacon lokasi periodik ke gateway.
* **Trace‑back** rute pulang; tampilan kompas/arah dinamis ke basecamp.
* **SOS** (tombol/aksi layar) → prioritas jaringan + buzzer di gateway.
* **Log perjalanan** ke microSD.
* **Manajemen daya:** mode sleep terkontrol (tombol pendek = sleep/wake; tekan lama = dialog shutdown). Saat sleep, fungsi inti (perekaman minimal/periodik & telemetri) tetap aktif sesuai profil hemat energi.
* **Target daya tahan:** ≥ 24 jam (baterai 3600 mAh, profil campuran).

**Ketahanan:**

* PCB **conformal coating**, desain casing **minim lubang**, holster untuk sabuk/tas.

### 6.2 Relay (titik penguat jangkauan)

**Fungsi:** Meneruskan paket dari Navigator → Gateway (langsung atau via relay lain).

**Basis HW:** Mirip Navigator **tanpa** layar/sensor/charger user‑grade.

* **Energi:** Panel surya 6 V 2 A (±90×350×15 mm) → **mini MPPT** keluaran 5 V → LDO di PCB.
* **Baterai:** ~4× kapasitas Navigator.
* **Antena:** flower‑pot high‑gain (~6,1 dBi), tiang 3 m + 3 titik sling baja penahan.
* **Sinkron waktu:** u‑blox Neo‑6M untuk RTC; dapat mengirim **paket validasi link** berkala (untuk analitik di gateway).

### 6.3 Gateway (basecamp)

* **Antena:** yagi beam 90° (pada tiang 7–8 m), diarahkan ke relay terdekat.
* **Konversi & Transport:** LoRa UART → **RS485** → RJ45 → Cat5e ke ruang base.
* **Daya via kabel:** Tegangan dinaikkan di tiang, diturunkan (buck) ke 5 V/3 V di ujung.
* **Unit Dalam Ruang:** Raspberry Pi, tombol power, buck converter, buzzer (tanpa layar).
* **Webapp lokal:** Akses via smartphone pada SSID/URL lokal.

## 7) Protokol & Data

* **Routing:** AODV adaptasi untuk LoRa, dengan aturan **controlled flooding**:
  + **SNCF** (Selective Node Coded Flooding) – seleksi node forwarder.
  + **RPF** (Reverse Path Forwarding) – hindari loop, prefer rute balik.
  + **LBF** (Link‑Based Flooding) – berbasis kualitas link (RSSI/SNR/PER per paket).
  + *Catatan:* Implementasi bertahap; subset teknik dipilih sesuai hasil uji.
* **Prioritas SOS:** Paket bertanda prioritas; retry & TTL khusus.
* **Adaptasi radio:** Profil SF/BW/CR per peran/hop; frame periodik vs on‑demand.

**Contoh payload (ringkas):**

{  
 "type": "BEACON|SOS|ACK|LINKTEST",  
 "role": "NAV|RELAY|GW",  
 "node\_id": "NAVxx",  
 "hop": 2,  
 "lat": -7.6,  
 "lon": 110.4,  
 "alt": 910,  
 "speed": 0.8,  
 "heading": 132,  
 "batt": 3.85,  
 "rssi": -103,  
 "snr": 8.2,  
 "ts\_gps": 1737690000,  
 "flags": {"sos": false}  
}

### 7a) Spesifikasi Radio/PHY Tetap (Profil V2)

* **Band:** 433 MHz (Sub‑GHz)
* **Spreading Factor (SF):** **12** untuk semua perangkat (Navigator, Relay, Gateway)
* **Bandwidth (BW):** **125 kHz**
* **Coding Rate (CR):** **4/5**
* **Daya Panc ar (TX):** **22 dBm** *(pastikan sesuai regulasi lokal)*
* **CRC PHY:** aktif (LoRa layer)
* **Catatan operasional:** SF12 + BW125 menghasilkan **Time‑on‑Air (ToA) relatif besar**, sehingga **payload harus ramping** dan **interval kirim dikendalikan** untuk menjaga kapasitas jaringan & kepatuhan duty‑cycle.

### 7b) Format Payload (String‑Based, dengan Prioritas SOS)

**Prinsip:** payload berupa **string ASCII** ringan, mudah di‑debug, namun tetap **ringkas**. Sediakan **dua mode**:

* **Verbose (kunci=nilai, mudah dikembangkan)**
* **Compact (urutan tetap, hemat byte)**

**Bidang inti (disarankan):**

* T (type): BEA (beacon), SOS, ACK, LKT (link‑test)
* P (priority): 1 untuk SOS, selain itu 0
* SEQ (sequence): counter paket untuk de‑duplikasi
* TTL: batas hop (0–15)
* SRC (node id) & ROLE: N/R/G
* H (hop): hop saat ini (diisi/ditambah oleh relay)
* TS (timestamp GPS/RTC)
* LAT,LON,ALT (opsional disingkat: LA,LO,AL)
* SPD,HDG (opsional)
* B (tegangan baterai) – khusus Navigator/Relay
* SIG (CRC aplikasi 16‑bit hex, opsional namun dianjurkan)

**Contoh – Verbose (mudah dibaca):**  
V2|T=BEA|P=0|SEQ=12AB|TTL=6|SRC=N12|ROLE=N|H=0|TS=1737690000|LAT=-7.60123|LON=110.41568|ALT=910|SPD=0.8|HDG=132|B=3.85|SIG=8F3A

**Contoh – SOS Verbose:**  
V2|T=SOS|P=1|SEQ=12AC|TTL=8|SRC=N12|H=0|TS=1737690123|LAT=-7.60150|LON=110.41610|B=3.50|MSG=HELP|SIG=92BD

**Contoh – Compact (hemat byte, urutan tetap):**  
2|B|0|12AB|6|N12|N|0|1737690000|-7.60123|110.41568|910|0.8|132|3.85|8F3A

**Aturan Ringkas:**

* Delimiter utama |, *key=value* untuk mode Verbose; **hindari** karakter | dalam nilai.
* Seluruh string **ASCII uppercase** untuk kunci; nilai numerik desimal (lat/lon 5–6 digit pecahan) atau heksadesimal untuk SEQ/SIG.
* **SIG**: CRC16 (mis. CRC‑CCITT) 4 heks digit; LoRa PHY sudah punya CRC, tetapi CRC aplikasi membantu verifikasi & de‑duplikasi.
* **Dedup:** Gateway/Relay menyimpan *recent SEQ per SRC* (cache LRU) untuk membuang duplikat.
* **Fail‑safe:** Jika payload > batas, kirim **Compact**; untuk SOS, kirim berulang dengan *jitter* pendek hingga ACK.

## 8) Aplikasi Web (Gateway)

**Fitur Utama:**

* **Peta live** posisi Navigator; **replay** dan jejak rute.
* **Alarm SOS** (bunyi buzzer, notifikasi visual).
* **Analitik jaringan mesh & link:** PDR per hop, latensi, RSSI/SNR, link margin, snapshot tabel rute, heatmap jangkauan (dari paket link‑test Relay).
* **Pelacakan kasus:** Simpan perjalanan dan peristiwa SOS (untuk investigasi & pelatihan).
* **Ringkasan TRESNO V2:** Halaman naratif singkat untuk pengantar cepat.

**Operasional:** Di‑host pada Raspberry Pi; akses lokal via smartphone.

## 9) Daya, Energi & Keandalan

* **Navigator:** Profil hemat – duty cycle GNSS, mode layar adaptif, interval kirim dinamis; target ≥ 24 jam.
* **Relay:** Tenaga surya + baterai besar; pemantauan SOC sederhana; watchdog untuk auto‑recovery.
* **Perlindungan:** Conformal coating, gasket casing, ventilasi terkontrol (anti‑kondensasi), konektor tertutup.

## 10) Keamanan & Keselamatan

* **Keselamatan pengguna:** Navigasi balik jelas; instruksi sederhana di layar; fallback kompas.
* **Protokol SOS:** Jalur prioritas, alarm gateway, logging.
* **Integritas data:** CRC, nomor urut (sequence), TTL/anti‑loop.
* **Privasi:** ID anonim; data hanya lokal; purge otomatis untuk data kasus lama.

## 10a) SOP Pemasangan (Lapangan)

**Tujuan:** Menjamin pemasangan aman, mendapatkan link yang baik, dan suplai energi memadai.

**Pemilihan lokasi Relay:**

* **Aman & stabil:** Tanah **tidak terlalu lunak**; hindari area rawan longsor/banjir.
* **Cahaya cukup:** Lokasi **cukup terbuka** agar panel surya mendapat sinar matahari memadai sepanjang hari.
* **Link bagus:** Verifikasi **RSSI/SNR/link‑margin** ke tetangga dengan uji *link‑test* sebelum pemasangan final.
* **Akses perawatan:** Dapat dijangkau untuk inspeksi berkala.

**Pemasangan mekanik & antena (Relay):**

* Tiang ±3 m dengan **tiga kawat penahan** (120°), tegangkan secukupnya; lakukan **pengeboran tanah secara hati‑hati**.
* Antena **flower‑pot** vertikal; gunakan **drip loop** pada kabel RF, **seal** konektor (self‑amalgamating tape + heat‑shrink).
* Panel surya menghadap khatulistiwa, kemiringan ±10–15°; kabel diberi strain‑relief.
* Label arah, ID node, dan tanggal pemasangan pada enclosure.

**Pemasangan antena Gateway:**

* Lokasi **dekat basecamp**, fokus ke **kualitas link** ke relay pertama; paparan matahari tidak kritis.
* Walau material non‑konduktif dan di sekitar ada pohon/bambu lebih tinggi, **risiko induksi petir tetap ada**. Disarankan **proteksi lonjakan minimal**: TVS/gas‑discharge di jalur RF/data, **grounding titik tunggal** bila memungkinkan, dan **loop tetesan** pada kabel masuk.
* Jalur RS485/RJ45: gunakan **pasangan terpilin**, rute kabel aman dari gesekan & genangan; beri **strain‑relief**.

## 10b) SOP Operasi dan Maintenance

**Pra‑operasi (sebelum turun lapangan):**

1. Periksa versi firmware & konfigurasi (SF12/BW125/CR4/5/TX 22 dBm).
2. Sinkronisasi waktu (RTC DS3231) di Gateway/Relay; Navigator akan *discipline* dari GNSS.
3. Uji **beacon** dan **SOS** end‑to‑end (cek buzzer gateway & notifikasi webapp).
4. Cek baterai: Navigator ≥ 90%; Relay panel & baterai berfungsi; **uptime** gateway normal.

**Operasi harian:**

1. Pantau **dashboard KPI** (PDR\_e2e, SOS latency p95, link‑margin p5, on‑time rate).
2. Jika **PDR\_e2e < 85%** atau **link‑margin p5 < +3 dB** pada rute utama, rencanakan **reposisi**/penambahan relay.
3. Validasi **beacon on‑time rate ≥ 92%**; bila turun, cek suplai energi dan posisi antena.
4. Catat anomali (burst‑loss > 2 paket, route‑change > 6/jam) untuk tindakan korektif.

**Uji berkala:**

* **Mingguan:** Uji SOS terjadwal; inspeksi visual konektor & guy‑wire.
* **Bulanan:** Review log energi, bersihkan debu/kotoran, tes *redundancy factor* dan *route discovery time*.

**Penanganan insiden:**

* Bila terjadi **SOS**, prioritas ke **lokalisasi cepat** di webapp; dorong Navigator terdekat sebagai **relay mobile** bila perlu.
* Setelah insiden, lakukan **post‑mortem** singkat berbasis KPI (latensi, PDR, burst‑loss) dan susun perbaikan.

**Trigger perawatan (berbasis KPI):**

* PDR\_e2e < 90% berulang → tambah/geser relay, cek antena/konektor.
* On‑time < 85% → evaluasi interval beacon & suplai energi.
* Link‑margin p5 < +3 dB → naikkan ketinggian antena/ubah orientasi/kurangi halangan.
* Uptime < 99% → cek catu daya & watchdog.

## 11) Rencana Deploy & Site Planning

1. **Survei lokasi:** LOS, kepadatan pohon, titik ketinggian, sudut elevasi.
2. **Penempatan relay:** Jarak antar‑relay dengan margin RSSI/SNR; tiang 3 m + 3 kawat penahan.
3. **Arah antena yagi:** Ke relay pertama/hub.
4. **Jalur kabel RS485/RJ45:** Proteksi petir dasar, strain‑relief.
5. **Komisioning:** Uji link‑test, kalibrasi waktu, uji SOS end‑to‑end.

## 12) Uji Lapangan & Validasi

* **Skenario:** LOS vs non‑LOS, cuaca lembap/berdebu, siang vs malam.
* **Metrik:** PDR, latensi, jarak/hop, RSSI/SNR, konsumsi daya, waktu tanggap SOS.
* **Alat bantu:** Logger di gateway; replay peta; analisis CSV (kompatibel LoRa Analyzer).
* **Kriteria lulus:** KPI pada Bagian 3 tercapai dan terukur.

## 13) Risiko & Mitigasi

* **Jangkauan kurang:** Tambah relay; optimasi SF/BW/CR; evaluasi antena & posisi.
* **Lingkungan lembap/berdebu:** Conformal coating; casing minim bukaan; desikan opsional.
* **Daya tidak cukup:** Profil hemat agresif; panel surya lebih besar; baterai cadangan.
* **Kompleksitas routing:** Mulai dari AODV minimal; tambahkan fitur flooding selektif bertahap.

## 14) Roadmap (Jul–Oct 2025) — Weekly Blocks



## 15) Tim & Peran (Saran)) Tim & Peran (Saran)

* **System Lead / PM**
* **RF & Antenna Engineer**
* **Embedded/Firmware Engineer** (ESP32, LoRa)
* **Hardware & Power Engineer** (skematik, layout, PD, MPPT)
* **Mechanical & Enclosure** (casing, holster, sealing)
* **Backend/Web Engineer** (Raspberry Pi, webapp, visualisasi)
* **Field Ops** (survei, pemasangan, prosedur uji)
* **QA/Safety** (protokol SOS, SOP lapangan)

## 16) Anggaran (Kategori Utama)

* **Perangkat keras:** PCB, komponen, antena, baterai, panel surya, tiang & kawat penahan, konektor RS485/RJ45.
* **Perangkat lunak:** Pengembangan firmware/web, alat uji/analitik.
* **Mekanikal:** Casing, holster, gasket, pelapis.
* **Operasional:** Transport, pemasangan, perizinan lokasi (bila perlu).
* **Cadangan risiko:** 10–20%.

## 17) Visual yang Direkomendasikan (untuk Presentasi)

1. **Diagram arsitektur sistem** (mesh berbasis peran: Navigator–Relay–Gateway, RS485 ke base).
2. **Peta topologi** dengan posisi relay dan rute cakupan.
3. **Blok diagram perangkat** (Navigator/Relay/Gateway) + daftar komponen utama.
4. **Urutan SOS** (sequence diagram) dari tombol hingga alarm gateway.
5. **State machine daya Navigator** (normal → sleep → wake → dialog shutdown).
6. **Mockup UI webapp** (peta, kartu KPI, notifikasi SOS, replay rute).
7. **Skema tiang relay** (ketinggian, antena flower‑pot, 3 kawat penahan).
8. **Grafik metrik uji** (PDR vs jarak/hop, latensi, RSSI/SNR).

## 18) Lampiran

### 18.1 Parameter Radio (Profil Tetap V2)

* **Band:** 433 MHz (LLCC68/E220‑400T22D)
* **TX Power:** 22 dBm *(patuh regulasi setempat)*
* **SF/BW/CR:** **SF12 / 125 kHz / 4/5** untuk seluruh peran
* **CRC PHY:** aktif; disarankan **CRC aplikasi (SIG)** untuk dedup & validasi
* **Catatan:** ToA besar di SF12—jaga interval beacon & ukuran payload agar kapasitas mesh tetap sehat.

### 18.2 Glosarium Singkat

* **AODV:** *Ad‑hoc On‑Demand Distance Vector* (routing reaktif).
* **SNCF/RPF/LBF:** Teknik kontrol flooding & forwarder selektif.
* **PDR:** *Packet Delivery Ratio*.
* **TTL:** *Time To Live* paket.

## 19) Narasi Singkat (Elevator Pitch)

“**TRESNO** adalah solusi navigasi dua arah untuk kawasan Merapi yang minim infrastruktur. Dengan **LoRa mesh berbasis peran**, pengunjung selalu tahu arah pulang, sementara relawan melihat posisi mereka secara real‑time. Tanpa internet, hemat daya, dan tahan lingkungan—TRESNO membantu mempercepat pencarian dan menyelamatkan nyawa.”

### Catatan Penutup

Dokumen ini adalah **draft** terstruktur untuk presentasi dan pegangan teknis awal. Bagian routing (SNCF/RPF/LBF) akan difinalkan setelah uji terbatas; KPI dapat disesuaikan mengikuti hasil lapangan dan batas regulasi radio setempat.

## Lampiran – **Sticker Card Lapangan (1 Halaman)**

**Tujuan:** Lembar ringkas yang bisa ditempel pada enclosure atau dibawa tim.

### 1) Radio Profile (Tetap V2)

* **433 MHz**, **SF12 / BW 125 kHz / CR 4/5**, **TX 22 dBm** (patuh regulasi).
* ToA besar di SF12 → **payload ringkas** & **interval kirim terkendali**.
* PHY CRC aktif; **SIG (CRC app)** di payload untuk dedup & verifikasi.

### 2) Payload Cepat (String ASCII)

* **Mode Verbose:** key=value dipisah |.
* **Mode Compact:** urutan tetap, dipisah | (hemat byte).
* **Prioritas SOS:** P=1 (retry+jitter), lainnya P=0.
* **Bidang umum:** T(jenis), P, SEQ, TTL, SRC, ROLE, H, TS, LAT/LO/AL, B, SIG.
* **Link‑test (opsional):** tambahkan **per‑hop**: PH=hop:rssi:snr;… dan **delay per hop**: DT=hop:detik;… (diisi relay saat forward).

### 3) SOP Singkat

**Pemasangan Relay:** tanah tidak terlalu lunak, lokasi cukup terbuka (matahari), link bagus (uji cepat RSSI/SNR), akses perawatan. Tiang 3 m + 3 kawat penahan; bor tanah **hati‑hati**; seal konektor; panel surya miring 10–15°.

**Antena Gateway:** dekat basecamp, fokus ke link ke relay pertama. Pertimbangkan **proteksi lonjakan minimal** (TVS/GDT), *strain‑relief*, drip loop kabel. RS485/RJ45 pakai pasangan terpilin.

**Operasi:** pra‑operasi (cek firmware/RTC, uji BEACON & SOS), pantau **dashboard KPI**; jika PDR\_e2e<85% atau LM p5<+3 dB → evaluasi posisi/antenna/relay. Uji SOS mingguan; bersih‑bersih bulanan.

### 4) KPI Cepat (Ambang Target)

* **PDR\_e2e ≥ 90%** · **SOS p95 ≤ 30 s** · **Link‑margin p5 ≥ +6 dB**
* **On‑time ≥ 92%** · **Latensi/hop p95 ≤ 1 s** · **Uptime ≥ 99.5%**

## Contoh Payload (Siap Pakai)

### A) **Minimum (BEA – Compact, untuk operasi harian)**

Mendukung KPI tingkat jaringan: PDR\_e2e, latensi E2E, on‑time, cakupan, energi/baterai. (KPI per‑hop diperoleh dari frame *link‑test* berkala.)

2|B|0|01AF|6|NAV12|N|0|1737690000|-7.60123|110.41568|910|0.8|132|3.85|8F3A

**Urutan bidang (Compact):** VER|TYPE|P|SEQ|TTL|SRC|ROLE|H|TS|LAT|LON|ALT|SPD|HDG|B|SIG

* **VER** = 2 (versi payload)
* **TYPE** = B (Beacon), **P** = 0 (normal)
* **SEQ** = 01AF (hex), **TTL** = 6
* **SRC** = NAV12, **ROLE** = N, **H** = 0 (diisi relay saat forward)
* **TS** = 1737690000 (epoch s), koordinat & status sesuai contoh
* **SIG** = CRC16 app (heks 4 digit)

### B) **Full (LKT – Verbose + Per‑Hop, untuk analitik KPI lengkap)**

Mendukung KPI per‑hop (RSSI/SNR/latensi hop), stabilitas rute, dan efisiensi flooding.

V2|T=LKT|P=0|SEQ=01B0|TTL=8|SRC=N12|ROLE=N|H=0|TS=1737690456|LAT=-7.60180|LON=110.41650|ALT=915|B=3.82|PH=1:-104:7.8;2:-109:6.1;3:-111:5.0|DT=1:1.2;2:0.9;3:1.0|SIG=AB12

**Keterangan:**

* **T=LKT** (*link‑test*); **PH** berisi pasangan hop:rssi:snr yang **ditambahkan setiap relay** saat meneruskan.
* **DT** berisi hop:delay\_s (estimasi waktu simpan‑terus per hop); opsional jika tersedia.
* Gateway dapat menurunkan **link‑margin** per hop dari RSSI + tabel sensitivitas (SF12/BW125/CR4/5) dan menghitung **latensi per hop** dari **DT**.

Disarankan mengirim **LKT** secara **berkala** (mis. setiap 2–5 menit per node) agar dashboard KPI per‑hop tetap mutakhir tanpa membebani jaringan.