

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian berjudul “Analisa Dampak Beban Kendaraan dan Lalu Lintas Harian Rata-Rata Terhadap Jalan Raya Pasuruan”. Pada pengujian penelitian tersebut metode yang digunakan berupa pedoman Bina Marga. Bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban sumbu kendaraan terhadap tingkat kerusakan jalan pada ruas Jalan Portibi – Jalan Aloan Padang Lawas Utara. Dilakukan survei selama tujuh hari dan didapat total LHR sebesar 11.000. Berdasarkan *truck faktor* yang didapat sebesar 1236,61 lebih besar dari satu menunjukkan kerusakan pada jalan disebabkan oleh beban yang berlebihan (*Over load*) sehingga terjadi retak buaya, ambles, alur, lubang yang sedikit kerusakannya (Ilhamsyah et al., 2025).

Penelitian dengan judul “*Land Subsidence Analysis In Palembang City Using Differential Interferometric SAR*”. Menggunakan metode pengolahan DInSAR dengan citra Sentinel-1. Kegunaan metode ini untuk untuk memetakan area penurunan dan pengangkatan di Palembang. Kota Palembang terdiri dari beberapa formasi geologi, termasuk satu formasi Kuartar yang dikenal sebagai Endapan Rawa/Danau (Qs), dua formasi Tersier-Miosen, yaitu Formasi Airbenakat (Tma) dan Formasi Gumai (Tmg). Selain itu, kota ini juga terdiri dari satu formasi Oligosen-Miosen Tersier, yaitu Formasi Talangakar (Tomt). Keempat formasi ini terutama tersusun atas litologi batuan sedimen.. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan koherensi VV (Vertikal Vertikal) untuk Kota Palembang pada Agustus 2019, dengan nilai koherensi berkisar antara 0,040 hingga $0,920 \pi$. Berdasarkan pembahasan, nilai koherensi standar biasanya berkisar antara 0 hingga 1π . Pada tahun 2023, nilai koherensi VV kembali berada di antara 0,040 hingga $0,920 \pi$ untuk Agustus 2023 (Artini et al., 2025).

Dilakukan penelitian “Analisis Ketelitian DSM Kota Semarang dengan Metode InSAR Menggunakan Citra Sentinel 1”. Pada pengujian penelitian tersebut metode yang digunakan berupa pengolahan InSAR dengan citra Sentinel-1. Kegunaan metode ini untuk mengetahui informasi ketinggian serta untuk membuat peta deformasi. Kota Semarang yang merupakan kota pusat pemerintahan serta

industri di Pulau Jawa dibutuhkan data ketinggian tersebut untuk mendukung proses pengembangan seperti tata guna lahan, manajemen drainase, jaringan air bersih, jaringan jalan, dan mengidentifikasi wilayah rawan akan bencana longsor. Hasil yang didapat dari penelitian ini DSM berupa model permukaan digital didapatkan selisih ketinggian sebesar 0,148 meter hingga 203,558 meter dengan ketelitian sebesar 52,381 meter dan standar deviasi sebesar 35,386 meter (Sunu et al., 2019).

Berdasarkan Jurnal Perbandingan Vdf Jembatan Timbang Tanjung Balik, 2024 merujuk pada Manual Perkerasan Jalan No. 01/MN/BM/83 menjelaskan pada kendaraan memiliki posisi titik berat berdasarkan jenis kendaraan. Posisi titik berat digunakan untuk dasar mendistribusikan beban kendaraan ke tiap masing sumbu kendaraan. Karena hal itu jenis kendaraan mempunyai distribusi beban yang berbeda-beda (Erzag et al., 2024).

2.2 *Land Subsidence*

Land subsidence merupakan perubahan posisi pada permukaan tanah dibandingkan dengan titik acuan baik secara bertahap maupun terjadi tiba-tiba (Akbar & Setiawan, 2022). *Land subsidence* yang terjadi secara bertahap dapat diketahui penurunannya setelah proses penurunan muka tanah berlangsung dalam waktu yang lama dan besar penurunan tersebut dapat diukur melalui mekanisme yang dilakukan secara berkala. *Land subsidence* yang terjadi secara tiba-tiba disertai dengan perubahan fisik yang terlihat jelas dan dapat langsung diketahui besaran serta kecepatan penurunannya. Berikut ini faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya *land subsidence* (Suradianti et al., 2019):

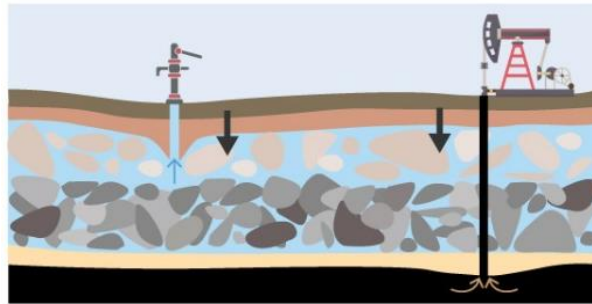
1. Penurunan muka tanah secara alami.

Terlihat Gambar 2.1 menjelaskan terjadinya *land subsidence* secara alami seperti yang diakibatkan oleh pergerakan tektonik, yang merujuk pada pergeseran lempeng-lempeng yang membentuk kerak bumi sehingga memicu fenomena geologis yaitu *land subsidence*.



Gambar 2.1 Pergerakan tektonik

2. Pengambilan air tanah secara berlebihan.



Gambar 2.2 Pengambilan air tanah

Seperti yang terlihat di Gambar 2.2 menjelaskan terjadi pengambilan sumber daya alam (SDA) seperti air, gas, dan sumber daya alam lainnya dengan cara memompa, melakukan fracking, serta menambang yang jika dilakukan secara terus menerus dan berlebihan akan menyebabkan peristiwa *land subsidence*.

3. Beban berat dari struktur bangunan.



Gambar 2.3 Beban berat dari struktur bangunan

Gambar 2.3 menjelaskan saat beban dari infrastruktur seperti bangunan, jalan, dan jembatan memberikan tekanan terhadap tanah hal tersebut dapat mempengaruhi kestabilan tanah.

4. Pengambilan bahan padat dari tanah akibat aktivitas penambangan yang berlebihan.

Sehingga faktor yang disebabkan oleh *land subsidence* dapat menimbulkan dampak kerusakan pada bangunan serta struktur jalan berupa keretakan dan amblas yang jika terjadi amblas yang lebih besar (*sinkholes*) akan membentuk lubang yang besar serta retakan panjang (*fisurries*) pada titik lokasi yang terjadi *land subsidence*, perubahan arah aliran sistem drainase, serta dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya banjir.

2.3 Landslide

Landslide yang disebut dengan tanah longsor adalah peristiwa yang terjadi ketika gaya pendorong, seperti kemiringan lereng, air, beban, dan berat jenis atau batuan, lebih besar daripada gaya penahan yang berasal dari batuan dan kepadatan tanah. Terjadinya *landslide* ditandai pergerakan pada struktur tanah serta batuan yang mengalami penurunan menuju daerah yang lebih turun dan rendah (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2021).



Gambar 2.4 *Landslide*
(Sumber: Detiknews, tahun 2017)

Landslide dapat disebabkan oleh faktor yang disebabkan oleh alam dan faktor yang disebabkan oleh manusia. Pada faktor alam terjadinya peristiwa *landslide* disebabkan oleh kemiringan lereng yang curam lebih dari kemiringan 40°, serta terganggunya kestabilan tanah yang diakibatkan oleh pergerakan tanah, batuan, atau campuran keduanya yang bergerak menuruni lereng. Selain itu, faktor manusia dapat menyebabkan terjadinya *landslide*, di mana aktivitas manusia seperti pembangunan infrastruktur di area lereng dapat menjadi pemicu terjadinya

peristiwa *landslide* ini (Saputra et al., 2022). Terdapat enam jenis *landslide* sebagai berikut:

1. Longsoran Translasi

Longsoran translasi merupakan pergerakan massa tanah dan batuan yang bergerak sepanjang bidang gelincir yang cenderung datar dan kemiringan yang landai.

2. Longsoran Rotasi

Longsoran rotasi merupakan pergerakan dari massa tanah dan batuan dari bidang yang gelincir dengan bentuk cekung atau melengkung ke bawah. Pergerakan massa tanah yang terjadi longsoran bergerak secara berputar mengikuti lengkungan dari bidang gelincir.

3. Pergerakan Dalam Blok Batuan

Pergerakan blok merupakan pergerakan massa batuan yang bergerak sepanjang bidang gelincir yang datar atau rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu, disebabkan batuan bergerak secara utuh dalam satu blok besar mengikuti bidang yang relatif datar.

4. Runtuhan Dari Batu

Runtuhan yang disebabkan oleh batuan serta material lain bergerak jatuh bebas menuju ke bawah. Peristiwa ini umumnya terjadi pada lereng yang curam atau hampir vertikal, terutama daerah yang berbatasan dengan pantai. Ketika batu-batu besar tidak dapat menahan posisi batu jatuh dengan kecepatan tinggi pada kondisi lereng curam yang menyebabkan kerusakan dan kecelakaan di bawahnya.

5. Rayapan Pada Tanah

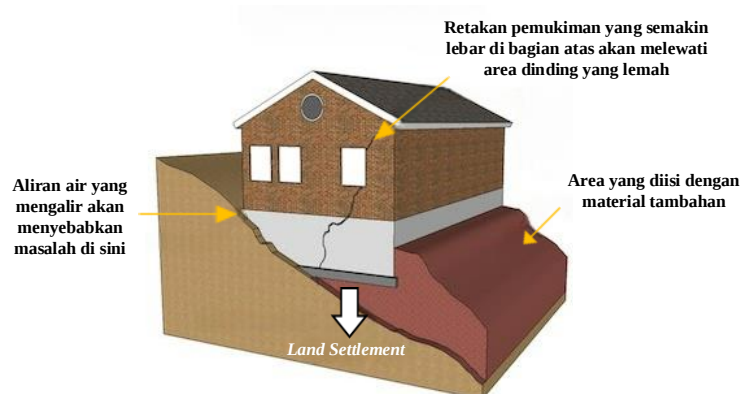
Rayapan tanah merupakan pergeseran yang sangat lambat pada lapisan tanah dapat berlangsung selama periode waktu yang panjang. Pada proses ini tidak terlihat secara langsung karena kecepatannya yang sangat rendah seiring waktu pergerakan tanah ini akan menyebabkan perubahan posisi benda-benda yang berada di permukaan seperti bangunan yang akibatnya dapat ambruk. Rayapan tanah ini umumnya terjadi pada daerah lereng landai atau tanah dengan kelembapan yang tinggi.

6. Aliran Bahan Rombakan

Jenis longsor berikut merupakan longsor akibat pergerakan massa tanah yang disebabkan oleh terdorong aliran air. Kecepatan pergerakannya dipengaruhi oleh kemiringan lereng, volume serta tekanan air, dan sifat tanah yang terlibat. Ketika pergerakan ini terjadi di lembah, massa tanah yang terbawa air dapat bergerak dengan cepat sehingga menimbulkan dampak dan kerusakan yang besar.

2.4 Land Settlement

Land settlement merupakan penurunan yang terjadi saat tanah menerima tekanan dari beban yang diberikan di atasnya. Seiring dengan penambahan beban secara bertahap, penurunan tanah akan meningkat yang pada akhirnya, akan tercapai suatu kondisi di mana, meskipun beban tetap tanpa ada penambahan beban, struktur jalan akan mengalami penurunan yang sangat besar. Penurunan yang terjadi akibat beban merupakan total dari penurunan segera disebut dengan *immediate settlement* yang terjadi secara langsung saat terdapat beban, tanpa melalui proses konsolidasi yang memerlukan waktu yang disebabkan oleh kompresi secara langsung pada tanah diakibatkan oleh beban tersebut dan penurunan yang diakibatkan oleh proses konsolidasi disebut *consolidation settlement*.



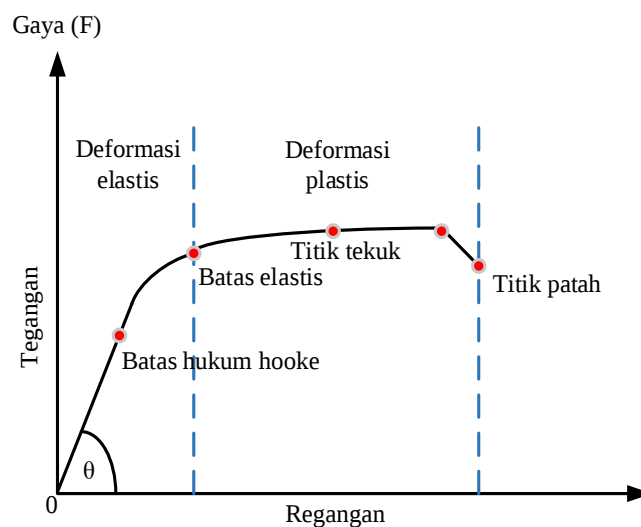
Gambar 2.5 *Land settlement*
(Sumber: Brickkicker, tahun 2025)

Proses ini terjadi dengan penyusutan volume tanah seiring dengan keluarnya air dari pori-pori tanah setelah diberikan beban tambahan. Beban tersebut menyebabkan peningkatan tekanan dalam tanah, yang mendorong air keluar perlahan, sehingga tanah menjadi lebih padat dan volumenya berkurang, yang mengakibatkan penurunan. Umumnya proses ini terjadi pada tanah yang memiliki

kandungan kadar air tinggi, seperti tanah lempung, dan berlangsung dalam jangka waktu yang lebih lama. Penurunan ini umumnya terjadi secara vertikal karena pergerakan tanah yang dibatasi oleh lapisan sekitarnya (Pradita et al., 2019).

2.5 Deformasi

Deformasi merupakan perubahan berupa dimensi, posisi, bentuk suatu material atau merupakan perubahan kedudukan (pergerakan) suatu material dalam segi absolute dan relative, akan mengalami perubahan dalam kerangka referensi tertentu akibat gaya yang bekerja padanya. Saat material mengenai gaya (*force*) maka akan terjadi deformasi (Suradianti et al., 2019).



Gambar 2.6 Kurva hukum Hooke

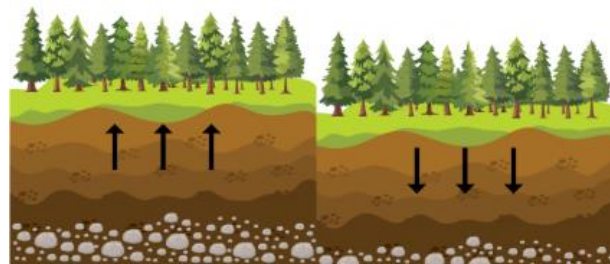
Terbagi menjadi dua jenis deformasi sebagai berikut penjelasannya:

1. Deformasi elastis merupakan perubahan bentuk yang diakibatkan beban berlebih jika beban dihilangkan bentuk dan ukuran akan kembali pada bentuk awal. Dengan ciri-ciri bersifat kembali seperti awal, di antara tegangan dengan regangan berhubungan secara linear (garis lurus) yang sesuai berdasarkan hukum Hooke dan bekerja di bawah tegangan proporsional (tegangan yield).
2. Deformasi plastis merupakan perubahan bentuk dari kelanjutan deformasi elastis bersifat permanen meskipun beban telah dihilangkan. Sebuah objek yang mengalami deformasi plastis pada awalnya akan melewati tahap deformasi elastis, yang bersifat kembali pada bentuk awal.

Gambar 2.6 mengenai kurva hukum Hooke menjelaskan di antara tegangan dengan regangan berhubungan secara linear (garis lurus) yang sesuai berdasarkan hukum Hooke dan bekerja di bawah tegangan proporsional (tegangan yield). Batas elastis merupakan titik maksimum terjadinya deformasi elastis, saat melewati batas elastis sudah mengalami deformasi plastis saat melewati titik tekuk tidak akan kembali ke bentuk awal setelah beban telah dihilangkan dan akhirnya terjadi kondisi titik patah diakibatkan gaya yang telah diberikan melebihi kemampuan untuk menahan beban tersebut.

2.6 Vertical Displacement

Vertical displacement merupakan pergerakan tanah yang terjadi perubahan elevasi pada tanah untuk mengetahui tanah mengalami kenaikan (*uplift*) atau penurunan (*subsidence*) dengan diukur beda ketinggian akhir dan ketinggian awal pada perubahan tersebut (Fabiola & Panuntun, 2024).



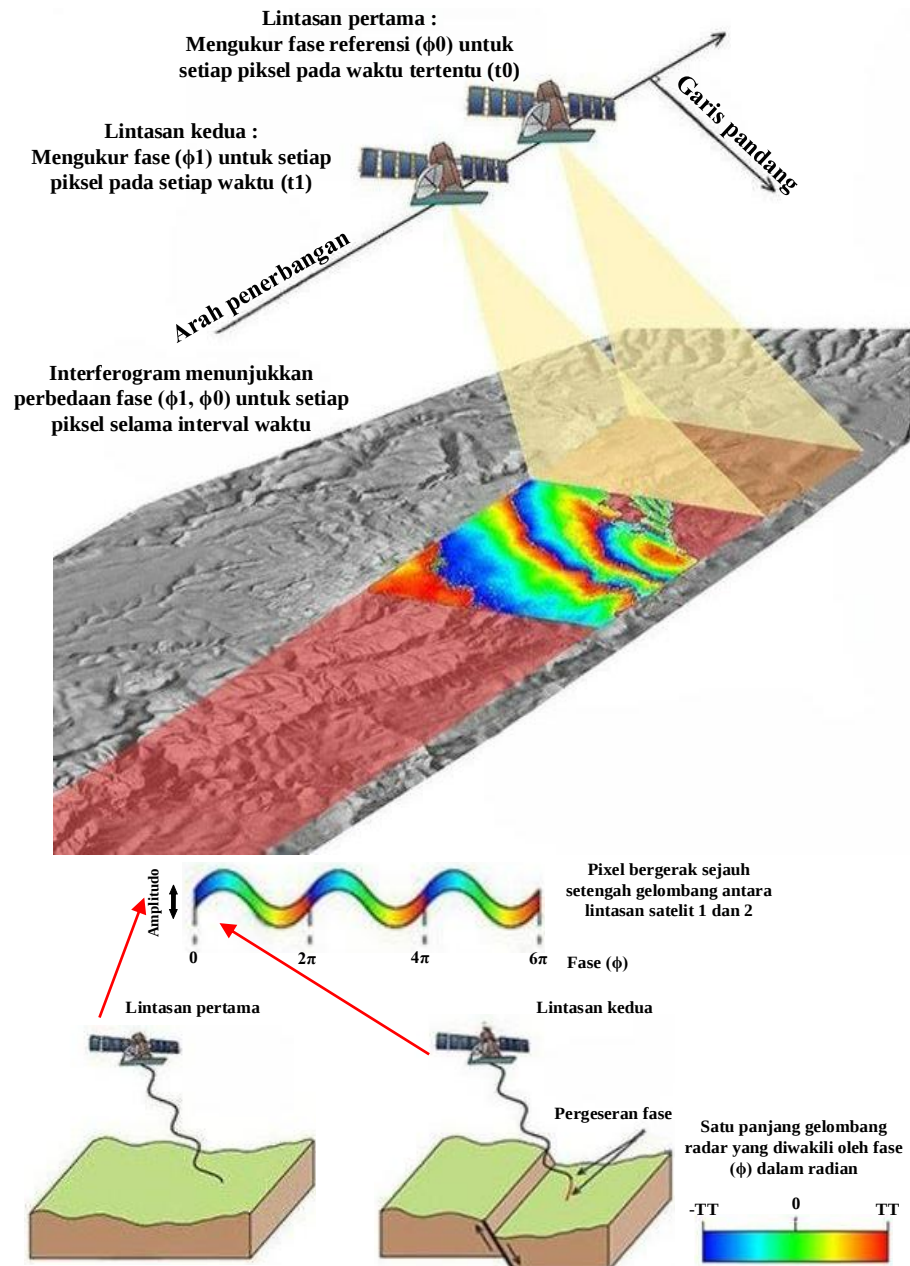
Gambar 2.7 Displacement vertikal
(Sumber: Geologyin, tahun 2024)

Vertical displacement dapat terjadi akibat peristiwa *land subsidence* yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti pengambilan air tanah yang berlebihan, akibat berat beban infrastruktur dan bangunan secara berlebihan, kegiatan penambangan yang berlebihan, beban lalu lintas yang melebihi kapasitas jalan.

2.7 InSAR

InSAR singkatan dari (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) merupakan metode yang menggunakan penginderaan jauh dengan kombinasi dari dua data SAR dengan pengamatan satelit radar untuk target yang serupa. Metode

ini memanfaatkan prinsip dari penyebaran gelombang elektromagnetik dengan fokus pengamatan untuk fase serta perbedaan fase gelombang.



Gambar 2.8 Prinsip kerja InSAR
(Sumber: John Andrew Scherer, tahun 2020)

Tahapan InSAR yaitu, pembentukan citra radar (*Single Look Complex/SLC image*) menggunakan data mentah dari (SAR data) hasil penginderaan jauh menggunakan pesawat atau satelit dan pembentukan citra interferogram untuk melihat bentuk topografi. Teknik ini dikembangkan untuk memantau perubahan

pada permukaan atau deformasi yang diakibatkan oleh kegiatan alamiah (*tectogenic* dan *seismogenic*) dan kegiatan manusia (*anthropogenic*) (Sunu et al., 2019).

InSAR digunakan untuk menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) yang berbasis data radar. Sensor radar yang terpasang pada pesawat atau satelit mengirimkan gelombang radar secara kontinu, kemudian gelombang radar tersebut dipantulkan kembali oleh permukaan bumi dan diterima kembali oleh sensor dan dihasilkan informasi berupa amplitudo sinar pancar serta fase yang dipengaruhi oleh jumlah gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan kembali.

Terlihat pada Gambar 2.8 mengenai InSAR memberikan penjelasan berupa dua lintasan satelit yang digunakan dalam sistem InSAR, terlihat dua lintasan satelit yang diambil pada posisi berbeda dan waktu yang berbeda. Untuk perbedaan lintasan digunakan untuk mengukur pergerakan permukaan bumi yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti pergerakan tanah dan aktivitas vulkanik. Terdapat skala yang ditampilkan berdasarkan warna yang digunakan untuk menunjukkan panjang gelombang InSAR untuk menggambarkan sejauh mana perubahan atau pergeseran permukaan bumi yang terdeteksi oleh sistem InSAR (Scherer, 2019).

2.8 SAR

SAR singkatan dari (*Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknik pengambilan gambar dari jarak jauh dengan pengambilan gambar radar beresolusi tinggi dari luar angkasa. Dengan radar, gelombang mikro digunakan untuk mengukur jarak (rentang) (ESA, 2024). Pada area yang ditinjau gelombang energi radar dipantulkan dan ditangkap oleh sensor penerima radar. Perbedaan pada waktu diukur dengan sensor antara pulsa yang ditransmisikan dan penerimaan energi yang dipantulkan, radar ini menentukan rentang pemantulan pada objek yang disebut dengan *range* atau *slant range*.

Keunggulan dari SAR adalah sinyal radar tidak dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan dapat menembus cuaca yang memungkinkan pengamatan dapat dilakukan pada siang dan malam tanpa dipengaruhi awan, hujan, dan kondisi cuaca lainnya. SAR memanfaatkan pergerakan satelit di orbit untuk melakukan

pengamatan berulang-ulang saat instrumen bergerak sepanjang jalurnya. Proses ini menghasilkan sintesis antena yang lebih besar dan memungkinkan pembuatan citra dengan resolusi tinggi dari permukaan bumi yang dilalui. Dengan menggunakan panjang gelombang yang bervariasi, informasi tambahan mengenai karakteristik lingkungan yang diamati dapat diperoleh, karena setiap panjang gelombang memiliki kemampuan penetrasi yang berbeda (EoPortal, 2024).

Panjang gelombang radar dikelompokkan ke dalam beberapa band yang berbeda, dalam pemilihan band digunakan berdasarkan jenis target yang akan diamati dan tujuan pengamatan itu sendiri. Setiap band memiliki panjang gelombang yang bervariasi, yang mempengaruhi kemampuan penetrasi gelombang radar ke permukaan serta jenis informasi yang dapat diperoleh. Berikut ini merupakan jenis-jenis panjang gelombang band:

Tabel 2.1 Panjang gelombang band dan frekuensi

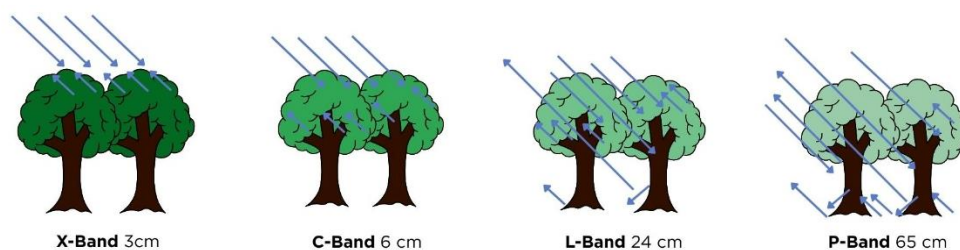
Band	Frekuensi	Panjang gelombang	Pengaplikasian
Ka	27-40 GHz	1,1-0,8 cm	Jarang digunakan
K	18-27 GHz	1,7-1,1 cm	Jarang digunakan
Ku	12-18 GHz	2,4-1,7 cm	Jarang digunakan
X	8-12 GHz	3,8-2,4 cm	SAR resolusi tinggi (pemantauan area perkotaan, mengamati es dan salju, penetrasi terbatas pada tutupan vegetasi sehingga tidak dapat menembus vegetasi dengan efektif. Area yang tertutup vegetasi, koherensi radar cepat menurun yang mengurangi kualitas pengamatan SAR dalam kondisi tersebut).
C	4-8 GHz	7,5-3,8 cm	SAR Workhorse (pemetaan global, sistem ini berguna untuk memantau area dengan penetrasi gelombang radar rendah hingga sedang, dan memberikan hasil dengan koherensi yang lebih tinggi, sehingga kualitas citra yang dihasilkan tetap stabil meskipun ada perubahan dalam

Band	Frekuensi	Panjang gelombang	Pengaplikasian
			kondisi permukaan. SAR Workhorse memantau wilayah es, lautan, dan navigasi maritim. Pada area es dan lautan, SAR memberikan data perubahan pada lapisan es dan memetakan area perairan yang luas. Pada navigasi maritim, SAR digunakan untuk mengidentifikasi kondisi laut dan mengawasi pergerakan kapal dan peristiwa di permukaan laut, terutama saat kondisi cuaca yang buruk.
S	2-4 GHz	15-7,5 cm	Peningkatan penggunaan penginderaan jauh berbasis SAR untuk pemantauan bumi pertanian. NISAR (NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar) akan dilengkapi dengan saluran S-band, serta memperluas aplikasi C-band agar dapat mengamati area dengan kepadatan vegetasi yang lebih tinggi. Penggunaan SAR dalam pemantauan pertanian berupa mengawasi kondisi tanaman, perubahan tutupan lahan, mendeteksi kekeringan dan kerusakan akibat penyakit pada tanaman. Adanya S-band pada NISAR meningkatkan kemampuan memantau area untuk vegetasi yang lebih rapat dan kompleks.
L	1-2 GHz	30-15 cm	SAR resolusi menengah untuk berbagai aplikasi, seperti pemantauan geofisika pemetaan biomassa, dan vegetasi. SAR dengan resolusi menengah memiliki kemampuan penetrasi yang lebih tinggi, sehingga efektif pada area yang tertutup vegetasi rapat dan kondisi geofisik yang sulit diamati oleh sistem

Band	Frekuensi	Panjang gelombang	Pengaplikasian
			penginderaan lain. Serta penggunaan InSAR untuk mendeteksi perubahan pada permukaan bumi dengan tingkat akurasi tinggi.
P	0,3-1 GHz	100-30 cm	Penggunaan SAR untuk pemetaan biomassa, vegetasi, dan penilaian kondisi lingkungan. Penggunaan data SAR dapat menganalisis struktur vegetasi, kepadatan tanaman, serta perubahan yang terjadi pada vegetasi dari waktu ke waktu. Selain itu band SAR eksperimental untuk mengevaluasi kemampuan SAR dalam mendeteksi objek dan kondisi tertentu, seperti jenis vegetasi atau biomassa yang sulit terdeteksi menggunakan band SAR umum lainnya.

(Sumber: *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, tahun 2025)

Berdasarkan tabel 2.1 telah dijelaskan karakteristik dari jenis-jenis band yang dalam SAR kegunaan band bertujuan untuk meningkatkan kemampuan penginderaan jauh.

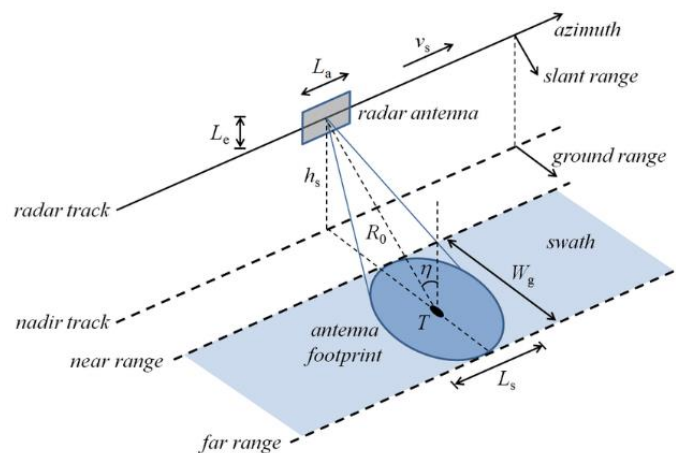


Gambar 2.9 Jenis-jenis band

(Sumber: *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, tahun 2025)

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) menggunakan jenis-jenis polarisasi untuk menangkap gelombang elektromagnetik dari permukaan bumi. Polarisasi ini mengacu pada orientasi gelombang elektromagnetik yang dipengaruhi oleh sudut dan bentuk permukaan yang dipantulkan. Beberapa jenis polarisasi dalam SAR sebagai berikut :

1. HH (Horizontal-Horizontal) merupakan polarisasi yang gelombang radar tersebut dipancarkan dan diterima sejajar dengan permukaan bumi. Polarisasi ini mengukur objek-objek yang memiliki permukaan datar dan halus.
2. HV (Horizontal-Vertikal) merupakan polarisasi yang gelombang radar tersebut dipancarkan secara horizontal dan diterima secara vertikal. Polarisasi ini menghasilkan informasi yang lebih kompleks seperti tekstur yang bervariasi.
3. VV (Vertikal-Vertikal) merupakan polarisasi yang gelombang radar tersebut dipancarkan dan diterima dalam orientasi vertikal. Polarisasi ini dapat mengidentifikasi objek-objek dengan tekstur permukaan vertikal dan tinggi seperti tanaman dan bangunan tinggi.
4. VH (Vertikal-Horizontal) merupakan polarisasi yang gelombang radar tersebut dipancarkan secara vertikal dan diterima secara horizontal. Polarisasi ini dapat mengidentifikasi objek-objek yang memiliki karakteristik yang lebih variatif.



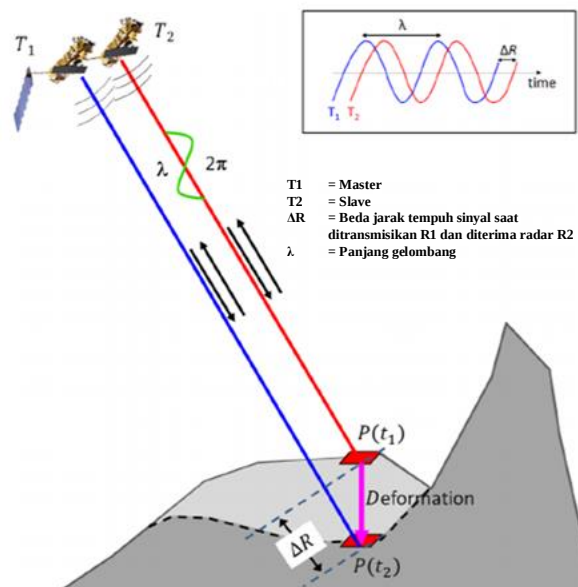
Gambar 2.10 Prinsip kerja SAR
(Sumber: Jurnal Michele Martone, M.Sc., tahun 2019)

Berdasarkan Gambar 2.10 menjelaskan sensor pada radar berada dengan ketinggian konstan (h_s) di atas permukaan tanah dengan kecepatan berproses (V_s) sepanjang jalur radar (atau sepanjang azimuth, atau arah sepanjang lintasan). Untuk tinggi dan panjang pada antenna ditunjukkan dengan (L_e dan L_a). *Slant range* (jarak kemiringan) yang mengacu pada arah tegak lurus terhadap jalur radar dengan menuju target (T). Untuk *ground range* (jarak permukaan pada tanah) merupakan proyeksi dari *slant range* pada permukaan tanah, yaitu vektor yang menghubungkan

titik pendekatan terdekat pada jalur nadir dan refleksi (T). Dimisalkan dengan tanda (R0) merupakan jarak *slant range* dari pendekatan terdekat antara sensor dengan target (T), setelah dilakukan transmisi pulsa, gelombang elektromagnetik yang dipantulkan akan diterima oleh radar dengan adanya keterlambatan waktu (Martone, 2019).

2.9 D-InSAR

D-InSAR singkatan dari (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknik *repeat-pass interferometry* yang menggunakan dua citra SAR untuk menentukan perubahan spasial di suatu area, dengan memanfaatkan koherensi untuk mengukur fase interferometri pada permukaan yang sama (Suradianti et al., 2019).



Gambar 2.11 Prinsip kerja DInSAR
(Sumber: Ardisetyo, tahun 2020)

Perbedaan fase yang dihasilkan membentuk citra baru yang disebut interferogram. Interferogram menggambarkan perbedaan fase yang dihasilkan dari perbedaan jarak yang diukur menggunakan *line of sight* (LOS) radar, mencakup faktor-faktor berupa topografi, perubahan orbit, deformasi permukaan, serta pengaruh atmosfer.

Deformasi yang terdeteksi dengan metode DInSAR terjadi sepanjang arah LOS pada dua citra SAR, yang menghasilkan pergeseran fase. Citra yang dihasilkan berupa interferogram memiliki garis-garis tipis disebut *fringes* yang menggambarkan besar fase pada nilai yang sama. *Fringes* menggambarkan rentang fase sebesar 0 hingga 2π yang ditunjukkan dalam bentuk warna. Nilai fase diperoleh melalui perambatan gelombang elektromagnetik melalui satelit dan pesawat udara, dimulai dari sensor menuju target dan kembali lagi ke sensor. Perbedaan jarak yang terjadi pada proses inilah yang menghasilkan franja pada citra interferogram. Interferogram mengandung perbedaan fase interferometrik yang terdapat informasi berupa lima peran sinyal fase sebagai berikut pertama yang diakibatkan pengaruh kondisi topografi ($\Delta\phi_{\text{flat}}$), kedua diakibatkan pengaruh oleh ketinggian ($\Delta\phi_{\text{elevasi}}$), ketiga diakibatkan perubahan permukaan ($\Delta\phi_{\text{deformasi}}$), keempat diakibatkan pengaruh oleh atmosfer ($\Delta\phi_{\text{atmosfer}}$), kelima diakibatkan pengaruh oleh noise/kesalahan ($\Delta\phi_{\text{noise}}$) (Chotimah et al., 2022). Digunakan rumus pada fase metode DInSAR sebagai berikut:

$$\Delta\phi_{\text{flat}} = \frac{-4\pi}{\lambda} \frac{Bn}{R \tan \theta}$$

$$\Delta\phi_{\text{elevasi}} = - \frac{\Delta q}{\sin \theta} \frac{Bn}{R} \frac{4\pi}{\lambda}$$

$$\Delta\phi_{\text{deformasi}} = + \frac{4\pi}{\lambda} d$$

Sehingga didapat persamaan fase

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{\text{flat}} + \Delta\phi_{\text{elevasi}} + \Delta\phi_{\text{deformasi}} + \Delta\phi_{\text{atmosfer}} + \Delta\phi_{\text{noise}}$$

Keterangan:

$\Delta\phi$ = Perbedaan fase antara dua citra SAR

λ = Panjang gelombang (m)

Bn = Baseline tegak lurus *slant* (*baseline papendiculari*) (m)

R = Jarak radar ke target (m)

θ = Sudut insiden (derajat)

q = Perbedaan ketinggian (*altitude*) antar target (m)

d = Perpindahan relatif proyeksi *slant* (m)

Perubahan deformasi permukaan dalam fase, memiliki tingkat ketidakjelasan terkait jarak antar fase, untuk mengetahuinya terdapat persamaan sebagai berikut:

$$\phi\Delta t = \frac{4\pi dR}{\lambda}$$

Keterangan :

$\phi\Delta t$ = Beda fase

dR = Selisih perbedaan tinggi mengukur melalui dua pengamatan citra radar

λ = Panjang gelombang radar

DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) merupakan metode dari perkembangan metode InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), yang keduanya digunakan untuk memantau aktivitas deformasi di permukaan menggunakan radar. Metode InSAR memerlukan dua citra SAR atau lebih berupa citra master dan citra *slave* yang digunakan untuk membentuk interferogram yang direkam pada objek yang sama dalam waktu yang berbeda. Interferogram yang dihasilkan terpengaruh oleh efek topografi serta atmosferik, sehingga metode DInSAR diperlukan untuk mengurangi kesalahan dalam proses tersebut. Melalui metode ini informasi tentang deformasi serta besar nilai pergerakan tanah (*subsidence* dan *uplift*) dapat diperoleh dari perbedaan fase yang terekam pada sensor SAR. Perbedaan antara metode InSAR dan DInSAR terlihat pada hasil yang diperoleh untuk hasil akhir dari metode InSAR didapat berupa DEM (*Digital Elevation Model*), untuk hasil akhir dari metode DInSAR didapat berupa *displacement map* yang disebut peta deformasi.

2.10 Citra Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan program pencitraan radar yang mengorbit di kutub, yang dirancang khusus untuk beroperasi dalam segala situasi cuaca, waktu operasional baik siang dan malam, untuk melayani pemantauan daratan, laut, dan tanggap darurat (ESA, 2014). Satelit penginderaan jauh ini berasal dari Eropa yang diluncurkan tanggal 3 April 2014, bagian dari seri pertama program *European*

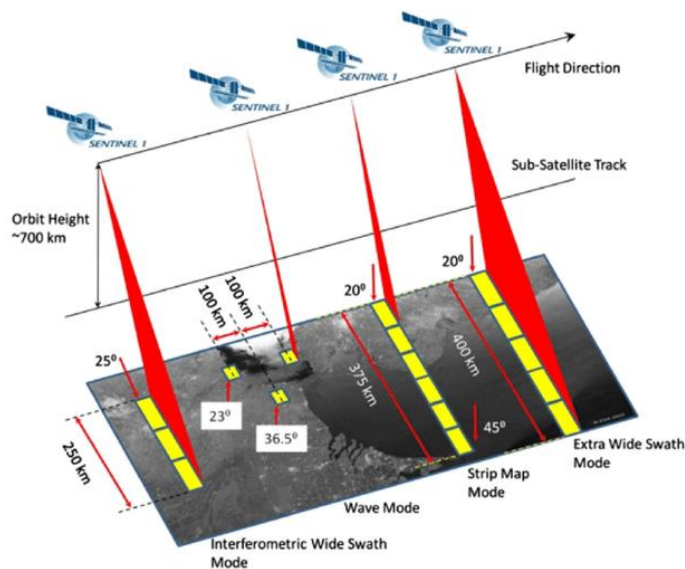
Space Agency (ESA) dan European Commission (EC). Dalam menentukan penurunan muka tanah (*land subsidence*) dilakukan menggunakan metode InSAR dengan memanfaatkan radar satelit salah satunya Sentinel-1A.

Pada tabel citra Sentinel-1 memiliki empat mode untuk mengumpulkan data pengamatan dari permukaan bumi dengan spesifikasi yang dirancang untuk memastikan keterhubungan dengan sistem lain.

Tabel 2.2 Mode pada citra Sentinel-1

Mode	Lebar yang dapat terdeteksi sensor satelit (swath)	Detail citra
<i>Strip Map</i>	80 km	5×5 m
<i>Interferometric Wide Swath</i>	250 km	5×20 m
<i>Extra-Wide Swath</i>	400 km	25×100 m
<i>Wave</i>	Mode ini kecepatan dalam transmisi data rendah	5×20 m

(Sumber: European Space Agency (ESA), tahun 2016)



Gambar 2.12 Citra Sentinel-1

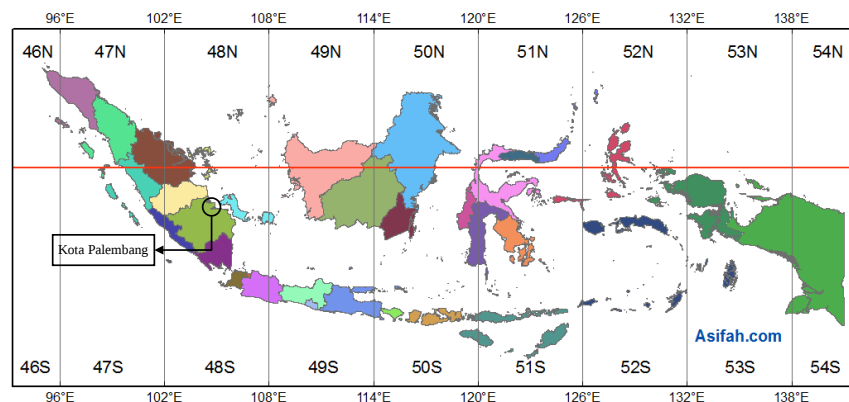
(Sumber: European Space Agency (ESA), tahun 2016)

Dalam citra Sentinel-1 digunakan mode *Interferometric Wide Swath* (IW) lebar yang dapat terdeteksi sensor satelit (swath) 250 km dan detail citra (5×20 m). Mode IW dirancang untuk memantau area dalam cakupan yang luas dengan satu kali akuisisi, tanpa terhalang kondisi cuaca baik siang dan malam hari membuat

mode ini tidak terbatas yang dapat mempengaruhi penginderaan jauh dan mode ini dapat mendeteksi deformasi permukaan bumi seperti penurunan tanah (*subsidence*) dan pergerakan disebabkan oleh aktivitas tektonik atau bencana alam dengan tingkat akurasi yang tinggi (ESA, 2025). Pada mode *Interferometric Wide Swath* (IW) pengambilan gambar dilakukan dalam tiga sub lintasan menggunakan teknik *Terrain Observation with Progressive SAR* (TOPSAR) dengan teknik ini, sinar radar melakukan pemindaian bolak-balik sebanyak tiga kali dalam satu lintasan yang disebut sub lintasan dan menghasilkan gambar berkualitas tinggi dan merata sepanjang lintasan tersebut (ESA, 2025).

2.11 Universal Transverse Mercator (UTM)

Universal Transverse Mercator (UTM) merupakan sistem dalam memproyeksi peta yang membagi keseluruhan permukaan bumi dalam 60 zona dengan per zona mempunyai lebar 6° menuju arah bujur (*longitude*) diawali dari 180° BB hingga 174° BB terus menuju arah timur hingga ke akhir di zona 60 diawali dari 174° BT hingga 180° BT (Assafah, 2025). Wilayah UTM Indonesia terbagi atas 9 bagian utara (*North*) dan 9 bagian selatan (*South*).



Gambar 2.13 Peta zona UTM di Indonesia
(Sumber: Asep Assafah, tahun 2025)

Pada Gambar 2.13 nomor zona dimulai 46 hingga 54 dengan ditambahkan simbol setelah nomor zona untuk mengetahui bagian utara (*North*) atau bagian selatan (*South*). Dilihat dari Gambar 2.13 dapat ditentukan zona UTM Kota Palembang berada pada nomor zona 48S.

2.12 Jalan Arteri

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.34 Tahun 2006 Jalan arteri merupakan jalan umum yang digunakan untuk kendaraan angkutan memiliki ciri-ciri kecepatan kendaraan tinggi karena masuk dalam jarak perjalanan jauh. Berdasarkan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990) dibagi dua jenis jalan arteri sebagai berikut:

1. Jalan arteri primer merupakan jalan yang menghubungkan antarkota, tidak boleh memiliki gangguan lalu lintas serta kegiatan lokal. Jalan ini dirancang dengan minimum untuk kecepatan 60 km/jam dengan lebar badan jalan tidak boleh kurang dari 11 meter.
2. Jalan arteri sekunder merupakan jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder dan menghubungkan kawasan sekunder yang satu dengan kawasan sekunder lainnya, tidak boleh memiliki gangguan lalu lintas. Jalan ini dirancang dengan minimum untuk kecepatan 30 km/jam dengan lebar badan jalan tidak boleh kurang dari 8 meter.



Gambar 2.14 Jalan arteri di Kota Palembang

2.13 Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)

Lalu lintas harian rata-rata yang selanjutnya disebut LHR adalah volume lalu lintas harian yang didapat dari hasil perhitungan volume lalu lintas pada lokasi tertentu yang kemudian dibagi jumlah hari selama survei dengan cara perhitungan LHR yang berlaku yang dinyatakan dalam satuan SMP/jam (PKJI, 2023).

2.14 Klasifikasi Kendaraan

Terbagi menjadi tiga acuan untuk menentukan jenis kendaraan dalam lalu lintas harian rata-rata (LHR).

Tabel 2.3 Klasifikasi Kendaraan

IRMS		DJBM (1992)		PKJI (2023)	
Gol	Jenis Kendaraan	Gol	Jenis Kendaraan	Gol	Jenis Kendaraan
1.	Sepeda motor, skuter, kendaraan roda 3 (tiga)	1.	Sepeda motor, skuter, sepeda kumbang, dan sepeda roda 3 (tiga)	1.	SM: Kendaraan bermotor roda 2 (dua) dan 3 (tiga) dengan panjang < 2,5 m
2.	Sedan, jip, station wagon	2.	Sedan, jip, station wagon	2.	MP: mobil penumpang 4 (empat) tempat duduk, mobil penumpang 7 (tujuh) tempat duduk, mikrobus, mobil angkutan barang kecil, mobil angkutan barang sedang dengan panjang ≤ 5,5 m
3.	Opelet, pickup, kombi, dan minibus	3.	Opelet, pickup, kombi, dan minibus	3.	KS: Bus sedang dan mobil angkutan barang 2 (dua) sumbu dengan panjang ≤ 9,0 m
4.	Pickup, truk kecil, dan mobil hantaran	4.	Pickup, truk kecil, dan mobil hantaran	4.	BB: Bus besar 2 (dua) dan 3 (tiga) sumbu dengan panjang sampai 12,0 m
5a.	Bus kecil	5.	Bus	5.	TB: Mobil angkutan barang 3 (tiga) sumbu, truk gandeng, dan truk tempel (semitrailer) dengan panjang >12,0 m
5b.	Bus besar	6.	Truk 2 (dua) sumbu		KTB: Sepeda, becak, kendaraan ditarik hewan
6.	Truk 2 (dua) sumbu	7.	Truk 3 (tiga) sumbu atau lebih dan gandengan		
7a.	Truk 3 (tiga) sumbu	8.	KTB: Sepeda, becak, dokar, kretek, andong		
7b.	Truk gandengan				
7c.	Truk tempelan (semi trailer)				
8.	KTB: Sepeda, becak, dokar, kretek, andong				

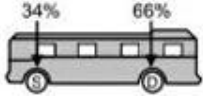
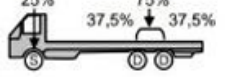
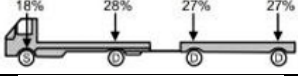
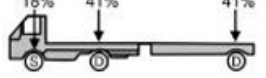
(Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, tahun 2023)

Terdapat acuan yaitu berdasarkan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2023) yang terbagi menjadi 5 golongan, berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga (1992) yang terbagi menjadi 8 golongan, serta berdasarkan *Integrated Road Management System* (IRMS) yang terbagi menjadi 11 golongan. Berdasarkan survei lalu lintas harian rata-rata untuk mencakup keseluruhan jenis kendaraan digunakan klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan *Integrated Road Management System* (IRMS).

2.15 Konfigurasi Pembebanan Berdasarkan Jenis Kendaraan

Berdasarkan jurnal penelitian (Erzag et al., 2024) mengacu pada peraturan Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman Beam No.01/MN/BM/83 digunakan konfigurasi berdasarkan kendaraan yang melintas untuk menganalisis beban kendaraan sehingga beban tersebut dapat mempengaruhi peristiwa *subsidence*.

Tabel 2.4 Konfigurasi Jenis Beban Kendaraan

Konfigurasi Sumbu dan Tipe	Berat Kosong (Ton)	Beban Muatan Maks (Ton)	Berat Total Maks (Ton)	Jenis Kendaraan
1,1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2,0	
1,2 BUS	3	6	9	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	
1,22 TRUK	5	20	25	
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	

(Sumber : Jurnal Penelitian Erzag et al, tahun 2024)

Saat kendaraan melintas beban yang terdistribusi ke lapisan bawah permukaan jalan berupa lapisan tanah. Beban kendaraan yang melintas secara berulang khususnya jenis kendaraan dengan distribusi beban yang besar seperti truk dan trailer dapat menyebabkan penurunan yang signifikan.

2.16 Forecast Linear

Forecast linear adalah metode perhitungan sebagai prediksi nilai (*forecasting*) dengan cara menggunakan nilai yang sudah ada. Forecast linear yang digunakan merupakan rumus bawaan ms. Excel

Rumus : FORECAST.LINEAR(x, known_y's, known_x's)

Diketahui : x merupakan data yang akan diprediksi nilainya.

Known_y's merupakan rentang data nilai Y yang diketahui.

Known_x's merupakan rentang data nilai X yang diketahui, angka yang mewakili nilai X baru yang akan diprediksi nilai Y nya.