Jurnal Teknik Indonesia
Volume 5 Nomor 4, November 2026
pp. 1166-1173
DOI: https://doi.org/ 10.58860/jti.v5i4.973

Perencanaan Hidrologis dan Struktural Box Culvert pada Jalan MORR III Tahap IV

Daniel Markus, Wellem Toad*, Steven Richard Kamurahan
Politeknik Negeri Manado, Indonesia
Email: Danielmarkusd962@gmail.com, wellemtoad1962@gmail.com*

Keywords
box culvert, design flood discharge, hydraulic analysis, structural design, MORR III

Abstract
The construction of the Manado Outer Ring Road (MORR) III Phase IV passes through hilly terrain with numerous natural stream channels, requiring a properly planned cross-drainage structure in the form of a box culvert capable of conveying surface runoff without causing waterlogging or structural damage to the road. This study aims to calculate the design flood discharge in the catchment area intersecting the road alignment, determine the optimal and safe hydraulic dimensions of the box culvert, and design the structural reinforcement of the reinforced concrete in accordance with the latest bridge loading standards. The research method involved field surveys, secondary data collection including BMKG rainfall data and DEM maps, hydrological analysis to determine the design flood discharge, hydraulic analysis to determine the cross-sectional dimensions, and structural analysis based on SNI 1725:2016 and SNI 2847:2019. The results show that the design flood discharge for a catchment area of 2.76 km² is 46.95 m³/second. The safe and optimal hydraulic dimensions of the single box culvert were determined to be a width of 5.00 m and a height of 4.50 m, with a maximum discharge capacity of 144.80 m²/second. The rigid frame structural modeling, with a slab thickness of 400 mm, resulted in a main reinforcement design of D19-150 mm at the top slab support area, which was found to be safe. This study recommends the construction of energy-dissipating structures downstream to prevent scouring of the road foundation.

Kata Kunci:
box culvert, debit banjir rencana, analisis hidrolika, desain struktur, MORR III

Abstrak
Pembangunan jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III Tahap IV melintasi kawasan berbukit dengan banyak alur anak sungai alami, sehingga memerlukan bangunan drainase melintang berupa box culvert yang direncanakan secara tepat agar mampu mengalirkan limpasan air tanpa menimbulkan genangan maupun risiko kerusakan struktur jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung debit banjir rencana pada daerah tangkapan air yang memotong trase jalan, menentukan dimensi hidrolis box culvert yang optimal dan aman, serta merencanakan desain struktural penulangan beton bertulang sesuai standar pembebanan jembatan terbaru. Metode penelitian dilakukan melalui tahapan survei lapangan, pengumpulan data sekunder berupa data curah hujan BMKG dan peta DEM, analisis hidrologi untuk menentukan debit banjir rencana, analisis hidrolika untuk menentukan dimensi penampang, serta analisis struktur menggunakan acuan SNI 1725:2016 dan SNI

2847:2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit banjir rencana pada catchment area seluas 2,76 km² sebesar 46,95 m³/detik. Dimensi hidrolis single box culvert yang aman dan optimal diperoleh lebar 5,00 m dan tinggi 4,50 m dengan kapasitas debit maksimal 144,80 m²/detik. Hasil pemodelan struktur portal kaku dengan ketebalan plat 400 mm menghasilkan desain penulangan utama D19-150 mm pada daerah tumpuan plat atas yang dinyatakan aman. Penelitian ini merekomendasikan pembangunan konstruksi peredam energi di area hilir guna mencegah gerusan pada pondasi jalan.

Pendahuluan

Kota Manado sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Utara sekaligus pusat kegiatan wilayah kerja sama ekonomi sub-regional terus mengalami pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang pesat. Peningkatan ini berdampak langsung pada volume pergerakan kendaraan dinamis yang melintasi jalan-jalan protokol kota. Guna mengatasi permasalahan kemacetan kronis di pusat kota serta mendukung aksesibilitas menuju Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) Likupang, Pemerintah Pusat melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) membangun infrastruktur struktur jalan lingkar luar baru, yaitu jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021a).

Pembangunan jalan MORR III dibagi ke dalam beberapa tahapan pelaksanaan. Wilayah yang saat ini sedang dalam fokus penyelesaian adalah MORR III Tahap IV, yang berfungsi menghubungkan titik strategis transportasi logistik regional serta membuka aksesibilitas wilayah hinterland Manado dan Minahasa Utara (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Sulawesi Utara, 2025). Mengingat jalan raya ini didesain sebagai jalur logistik sekunder berkapasitas besar, maka ketahanan perkerasan jalan terhadap beban lalu lintas kendaraan berat dan faktor cuaca ekstrem di wilayah tropis menjadi prioritas utama dalam perencanaan teknis jalan (Miftahulkhair et al., 2024).

Salah satu tantangan terbesar dalam mempertahankan umur rencana jalan lingkar luar di Manado adalah aspek pengendalian air. Air merupakan musuh utama bagi perkerasan jalan raya, baik perkerasan lentur (flexible pavement) maupun perkerasan kaku (rigid pavement). Akumulasi limpasan air hujan yang tidak teralirkan dengan baik dari permukaan jalan akan meresap ke dalam lapis fondasi, menurunkan daya dukung tanah dasar (subgrade), serta memicu kerusakan struktural dini seperti deformasi permanen, lubang (potholes), hingga amblesan badan jalan (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022; Sukirman, 2010; Zanjirani Farahani & Farahani, 2023). Oleh karena itu, penyusunan sistem drainase jalan yang komprehensif bersifat mutlak untuk menjaga stabilitas geometrik jalan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021b).

Kondisi topografi di sepanjang trase proyek jalan MORR III Tahap IV memiliki karakteristik yang berbukit-bukit dengan kemiringan lereng yang bervariasi. Kontur tanah bergelombang ini secara alami membentuk banyak alur anak sungai atau ceruk lembah penampung limpasan air permukaan (catchment area). Ketika trase jalan raya memotong alur air alami tersebut, diperlukan bangunan drainase melintang jalan (cross drain) untuk mengalirkan air dari sisi hulu ke sisi hilir jalan raya secara aman tanpa menggenangi badan jalan (Collazo et al., 2025; Sembiring et al., 2026; Yusuf & Akbar, 2026).

Bangunan drainase melintang yang dinilai paling efektif dan efisien untuk karakteristik daerah tangkapan hujan dengan debit menengah hingga besar pada proyek ini adalah gorong-gorong persegi beton bertulang atau box culvert. Dibandingkan dengan gorong-gorong pipa lingkaran (pipe culvert), box culvert memiliki keunggulan fungsional berupa kapasitas tampung hidrolis penampang yang jauh lebih besar untuk dimensi lebar yang sama, kemudahan metode instalasi (baik cor di tempat maupun pracetak/precast), serta kemampuan struktural yang tinggi dalam menahan kombinasi beban mati tanah urukan vertikal-horizontal serta beban hidup lalu lintas kendaraan berat di atasnya sesuai regulasi pembebanan jembatan terbaru (Assem & Falderika, 2023; Dawood & Mawlood, 2024; Wikanto & Wibisono, 2024).

Berdasarkan pertimbangan parameter hidrologi wilayah Manado yang memiliki intensitas curah hujan tinggi serta kompleksitas struktur pembebanan jalan lingkar, maka diperlukan suatu kajian teknis yang presisi. Perencanaan dimensi box culvert tidak boleh hanya berdasarkan perkiraan visual semata, melainkan harus melalui integrasi analisis hidrologi untuk menentukan debit banjir rencana kala ulang, analisis hidrolika untuk menentukan dimensi penampang yang ekonomis-aman, serta analisis struktur kekuatan batas beton bertulang. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa ketidaksesuaian antara debit banjir rencana dan kapasitas hidrolis gorong-gorong dapat menyebabkan luapan dan kegagalan pada perlintasan jalan (Afrizal et al., 2026; Mukherjee et al., 2024; Osei et al., 2023). Atas dasar pemikiran tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul "Analisis Perencanaan Box Culvert pada Proyek Jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III Tahap IV".

Metode Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan tahapan sistematis untuk memperoleh seluruh informasi dan parameter teknis yang diperlukan dalam proses analisis. Mengingat kompleksitas perencanaan yang mengintegrasikan bidang hidro dan struktur, data yang dikumpulkan dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer merupakan data teknis yang diperoleh secara langsung dari pengamatan, pengukuran, dan pencatatan di lokasi proyek jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III Tahap IV. Pengumpulan data primer ini bertujuan untuk mensinkronkan kondisi teoritis dengan keadaan riil di lapangan. Data primer yang dikumpulkan meliputi:

Kondisi Tata Guna Lahan Eksisting: Melakukan survei visual secara langsung pada daerah tangkapan air (*catchment area*) di sekitar trase jalan untuk menentukan nilai koefisien limpasan (C). Pengamatan difokuskan pada kerapatan vegetasi, luasan lahan terbuka, pemukiman, atau perkebunan dominan yang memengaruhi laju infiltrasi tanah.

Geometris Aluran Alam Eksisting: Mengukur dimensi lebar dan kedalaman saluran tanah alami yang dipotong oleh trase jalan proyek sebelum bangunan *box culvert* dipasang. Data ini berguna sebagai pembanding kapasitas hidrolis.

Dokumentasi Lapangan: Pengambilan foto atau visualisasi kondisi topografi lereng berbukit di sekitar proyek, kondisi aliran air permukaan saat hujan, serta progres fisik pelaksanaan jalan Tahap IV guna memperkuat lampiran laporan skripsi.

Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung instansi resmi yang diperoleh penulis dari pihak ketiga, baik dari kontraktor pelaksana, konsultan perencana, maupun badan meteorologi nasional. Data sekunder menjadi instrumen utama dalam melakukan komputasi numerik. Data sekunder yang dibutuhkan meliputi:

Data Curah Hujan Harian Maksimum: Data angka hujan harian tertinggi (dalam satuan mm) dalam kurun waktu minimal 10 tahun terakhir berturut-turut. Data ini diperoleh dari stasiun penakar hujan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV Manado (Stasiun Meteorologi Sam Ratulangi) atau stasiun hidrologi terdekat di Minahasa Utara.

Peta Topografi dan *Digital Elevation Model* (DEM): Data spasial berupa peta kontur atau citra DEM (seperti DEMNAS atau SRTM) yang digunakan untuk melakukan penarikan batas Daerah Aliran Sungai (DAS), mengukur luas area tangkapan air (A), serta menentukan panjang dan kemiringan saluran utama (L dan S) memanfaatkan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) seperti ArcGIS.

Gambar Kerja (*Shop Drawing / As-Built Drawing*): Data teknis proyek berupa cetak biru penampang melintang dan memanjang jalan (*cross-long section*) MORR III Tahap IV. Gambar ini diperlukan untuk mengetahui elevasi muka jalan rencana, rencana tebal lapisan perkerasan aspal, serta elevasi dasar saluran tempat penempatan *box culvert*.

Data Parameter Tanah (*Soil Test*): Laporan hasil pengujian mekanika tanah di sekitar lokasi rencana tapak jembatan/gorong-gorong (seperti nilai berat isi tanah γ, sudut geser dalam φ, dan nilai kohesi c). Data parameter ini mutlak diperlukan sebagai input perhitungan gaya dorong lateral tanah pada plat dinding *box culvert*.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Hidrologi Proyek

Analisis hidrologi dilakukan untuk memproses data karakteristik fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) dan curah hujan dari stasiun pengamat menjadi nilai debit banjir rencana ($Q_{rencana}$).

Parameter Fisik Catchment Area (DAS)

Berdasarkan pengukuran spasial menggunakan perangkat Google Earth pada lokasi tinjauan proyek jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III Tahap IV, diperoleh data fisik sebagai berikut:

1.Luas DAS (A) = (2,76 km^2)

2.Panjang Saluran Utama (L) = 3,20 km = 3.200 m

3.Beda Tinggi Elevasi (ΔH) = \(516,03 m - 192,63 m = 323,40 m

4.Kemiringan Rata-rata Saluran (S):

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{323{,}40}{3{,}200} 0{,}1011$$

Interpretasi Data Curah Hujan BMKG

Berdasarkan lampiran surat resmi BMKG Stasiun Klimatologi Sulawesi Utara untuk Pos BPP Pineleng periode 2016–2026, wilayah Manado memiliki kriteria

curah hujan bulanan dominan pada kategori Tinggi (301–500 mm) hingga Sangat Tinggi (>500 mm) pada bulan Januari, Februari, dan Desember.

Untuk analisis hidrologi jembatan, dari sebaran data historis tersebut digunakan nilai curah hujan harian rencana sebesar () = 145 mm [DATA PENULIS DIPERLUKAN: dasar perhitungan dan kala ulang].R_{24}

Perhitungan Waktu Konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi dihitung dengan Persamaan Kirpich untuk mengukur durasi air mengalir dari titik hulu tertinggi menuju titik lokasi *box culvert*:

$$t_c = 0{,}0195 \times L^{077} \times S^{-0{,}385}$$

$$t_c = 0{,}0195 \times (3.200)^{0{,}77} \times (0{,}1011^{-0{,}385} = 23{,}40 \text{ menit}$$

$$t_c = \frac{23{,}40}{60} = 0{,}390 \text{ jam}$$

Perhitungan Intensitas Curah Hujan (I)

Nilai intensitas curah hujan dihitung menggunakan Rumus Mononobe (Soemarto, 1999):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24^{\frac{2}{3}}}{t_c} \right)$$

$$I = \frac{145}{24} \times \left(\frac{24^{\frac{2}{3}}}{0{,}390} \right) = 0{,}042 \times (61{,}54)^{\frac{2}{3}} = 94{,}18 \text{ mm/jam}$$

Perhitungan Debit Banjir Rencana ($Q_{rencana}$)

Kondisi tata guna lahan didominasi lereng perkelasan bervegetasi hutan sekunder dan perkebunan, sehingga ditetapkan nilai Koefisien Limpasan (C) = 0,65. Berdasarkan Metode Rasional Modifikasi (Subarkah, 1980), besar debit banjir rencana puncak adalah:

$$Q_{rencana} = 0{,}278 \times C \times I \times A$$

$$Q_{rencana} = 0{,}278 \times 0{,}65 \times 9418 \times 2{,}76 = 46{,}95 \text{m}^3/\text{detik}$$

Analisis Dimensi Hidrolis Box Culvert (Single Box)

Analisis hidrolika ditujukan untuk menguji validitas dimensi gorong-gorong tunggal agar mampu mengalirkan seluruh debit banjir rencana tanpa luapan.Struktur box culvert direncanakan menggunakan satu lubang (single box culvert) dengan dimensi bagian dalam berupa lebar bersih penampang sebesar 5,00 m dan tinggi bersih penampang sebesar 4,50 m. Tinggi jagaan bebas ditetapkan sebesar 0,50 m, yang telah memenuhi standar PU sebesar minimal 0,30 m, sehingga kedalaman air rencana diperoleh sebesar 4,00 m (tinggi bersih penampang dikurangi tinggi jagaan). Adapun kemiringan dasar beton ditetapkan sebesar 0,005 dan koefisien kekasaran beton (Manning) sebesar 0,013. Berdasarkan dimensi tersebut, dilakukan perhitungan parameter penampang basah yang meliputi luas penampang basah, keliling basah saluran, dan jari-jari hidrolis, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan kecepatan aliran menggunakan Persamaan Manning (Chow, 1992; Triatmodjo, 2008) serta kapasitas daya tampung debit total dari struktur single box culvert tersebut.

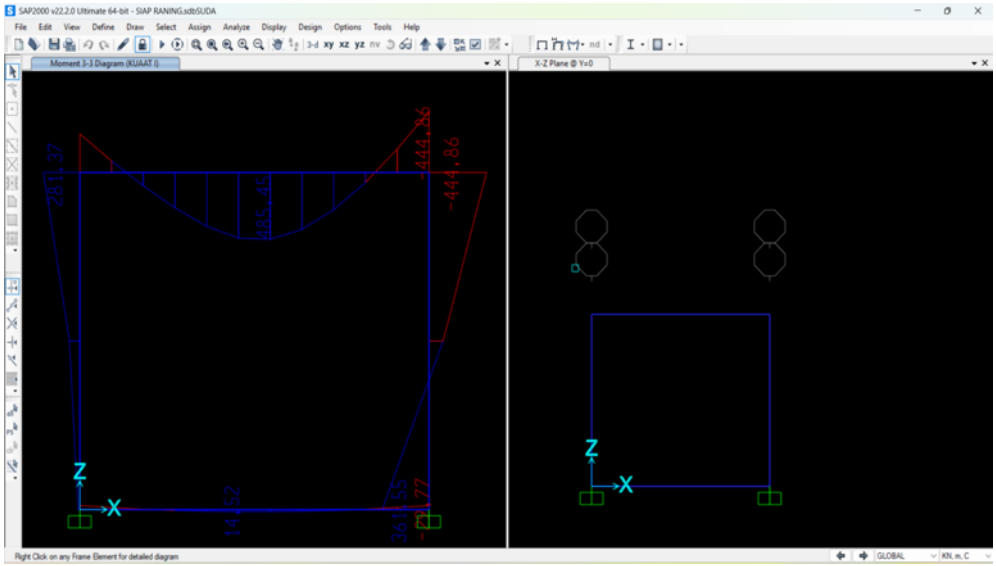
Hasil kontrol kelayakan hidrolis menunjukkan bahwa kontrol luapan berada dalam kondisi aman dan memenuhi syarat, sementara kontrol kecepatan aliran menunjukkan nilai

kecepatan sebesar 7,24 m/detik yang melebihi batas kikis beton normal sebesar 3,0 m/detik. Oleh karena itu, struktur disarankan menggunakan beton mutu tinggi serta wajib dilengkapi konstruksi apron dan dinding sayap (wing wall) pada bagian hilir untuk memecah energi aliran air.

Analisis struktur pembebanan dilakukan mengacu pada SNI 1725:2016 (Badan Standardisasi Nasional, 2016) untuk elemen struktur dengan bentang tunggal 5,00 m, dengan parameter material desain berupa mutu beton (f'c) sebesar 30 MPa, mutu baja tulangan (fy) sebesar 400 MPa, berat jenis beton bertulang sebesar 24 kN/m³, serta tebal plat atas, plat bawah, dan dinding sebesar 0,40 m sebagai pra-desain awal. Perhitungan beban kerja per meter panjang meliputi beban mati sendiri dari plat atas, beban mati tambahan berupa lapisan perkerasan aspal, tekanan tanah vertikal akibat timbunan tanah setinggi 1,00 m yang menghasilkan beban sebesar 18,00 kN/m, serta beban hidup truk rencana "T" dengan beban roda ganda sumbu belakang sebesar 112,5 kN yang ditambah faktor beban dinamis sebesar 30% untuk memperoleh total beban terpusat roda truk pada jembatan.

Perhitungan penulangan beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019), di mana berdasarkan hasil pemodelan menggunakan software SAP2000 pada kombinasi batas ultimit (Kuat I), diperoleh nilai momen ultimit maksimum pada bentang tengah plat atas sebesar 185 kN·m. Perhitungan tulangan pokok plat atas dilakukan dengan tebal plat 400 mm, selimut beton 50 mm, sehingga tinggi efektif plat diperoleh sebesar 350 mm, dengan faktor reduksi kekuatan sebesar 0,90. Berdasarkan perhitungan koefisien tahanan penampang, rasio kebutuhan tulangan, dan luas kebutuhan tulangan, digunakan besi tulangan ulir berdiameter D19 dengan jarak spasi tertentu. Hasil akhir desain penulangan menunjukkan bahwa plat atas jembatan box culvert dipasang tulangan utama D19-150 mm dengan luas tulangan terpasang yang dinyatakan aman karena lebih besar dari luas tulangan yang dibutuhkan.

Perhitungan Penulangan Beton Bertulang mengunakan sap2000



Gambar. 1

Sumber: Gambar hasil pemodelan/perhitungan struktur dalam naskah asli; asal berkas dan keluaran SAP2000 perlu dikonfirmasi penulis.

Keterbatasan dan verifikasi desain: kecukupan hidrolis dan keamanan struktur harus ditetapkan berdasarkan data curah hujan harian maksimum yang dapat ditelusuri, kala ulang yang dipilih, parameter tanah, kombinasi pembebanan, serta pemeriksaan gerusan dan kondisi inlet–outlet. [DATA PENULIS DIPERLUKAN: lampirkan seri data hujan dan metode analisis frekuensi, dasar pemilihan hujan rencana 145 mm, perhitungan lengkap debit banjir dan kapasitas saluran, serta hasil kontrol struktur dan gambar detail.] Angka yang belum terverifikasi tidak boleh dinyatakan sebagai bukti final kelayakan konstruksi.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hidrologi menggunakan data hujan BMKG Pos BPP Pineleng dengan catchment area seluas 2,76 km², diperoleh nilai debit banjir rencana (Qrencana) sebesar 46,95 m³/detik. Perencanaan dimensi hidrolis Single Box Culvert yang aman dan optimal, dengan memenuhi syarat kontrol tinggi jagaan (f = 0,50 m), menghasilkan dimensi lebar (B = 5,00 m) dan tinggi (H = 4,50 m) dengan kapasitas debit maksimal sebesar 144,80 m³/detik. Selanjutnya, hasil pemodelan struktur portal kaku sesuai SNI 1725:2016 dan SNI 2847:2019 dengan ketebalan plat 400 mm menghasilkan desain penulangan akhir pada daerah tumpuan plat atas menggunakan tulangan utama D19-150 mm, yang dinyatakan aman karena luas tulangan terpasang lebih besar dari luas tulangan yang dibutuhkan.

Daftar Pustaka

Afrizal, R. F., Ramadhan, R. S., & Fatikasari, A. D. (2026). Analisis kinerja box culvert terhadap debit banjir rencana di Kecamatan Pakal Surabaya. *Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, *14*(1), 10–18. https://doi.org/10.30742/axial.v14i1.5093

Assem, S. A. K., & Falderika. (2023). Analisis kapasitas box culvert existing pada pengembangan Bandar Udara Rendani Provinsi Papua Barat. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, *12*(2), 160–165. https://doi.org/10.22225/pd.12.2.6577.160-165

Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan*.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.

Chow, V. T. (1992). *Hidrolika saluran terbuka (open-channel hydraulics)* (E. V. Nurianti, Trans.). Erlangga.

Collazo, C., Bunganaen, W., & Hangge, E. (2025). Analisis kinerja saluran drainase Jalan H. R. Koroh Kota Kupang menggunakan EPA SWMM 5.2. *Jurnal Forum Teknik Sipil*, *5*(1), 90–101. https://doi.org/10.35508/forteks.v5i1.20835

Dawood, A. H., & Mawlood, D. K. (2024). Analysis and design of a box culvert using Bentley Culvert Master software: Qoshtapa culvert as a case study. *ARO-The Scientific Journal of Koya University*, *12*(1), 124–134. https://doi.org/10.14500/aro.11393

Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Sulawesi Utara. (2025). *Peta rencana tata ruang wilayah (RTRW) koridor Manado–Minahasa Utara*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021a). *Pembangunan jalan Manado Outer Ring Road (MORR) III untuk konektivitas transportasi Sulawesi Utara*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021b). *Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 23/SE/Db/2021 tentang pedoman desain drainase jalan*. Direktorat Jenderal Bina Marga.

Miftahulkhair, M., Arifin, M. Z., & Sutikno, F. R. (2024). Revealing the impact of losses on flexible pavement due to vehicle overloading. *Eastern-European Journal of Enterprise*

Technologies, *2*(1 (128)), 55–63. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299653

Mukherjee, S., Amatya, D. M., Campbell, J. L., Gryczkowski, L., Panda, S., Johnson, S. L., Elder, K., Jalowska, A. M., Caldwell, P., Grace, J. M., Mynski, D., & Waga, A. (2024). A watershed-scale multi-approach assessment of design flood discharge estimates used in hydrologic risk analyses for forest road stream crossings and culverts. *Journal of Hydrology*, *632*, Article 130698. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130698

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *Subsurface drainage practices in pavement design, construction, and maintenance*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/26569

Osei, J. D., Damoah-Afari, P., Anyemedu, F. O. K., Lartey, E. O., & Yevugah, L. L. (2023). Using integrated GIS and hydrological analysis for sizing culverts of multiple channel crossings at the flooded section of the Daboya-Mankarigu Road (IR10) in Ghana. *Heliyon*, *9*(12), Article e22863. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22863

Sembiring, M. I., Putri, A. Y., & Yolanda, Y. (2026). Analisis hidrologi hidraulika dan evaluasi kapasitas saluran drainase koridor Jalan Pengabdian–Jalan M. Yakub Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Teknologi Lingkungan: Environment Technology Journal*, *4*(1), 68–86. https://doi.org/10.29408/jtl.v4i1.34538

Soemarto, C. D. (1999). *Hidrologi teknik*. Erlangga.

Subarkah, I. (1980). *Hidrologi untuk perencanaan bangunan air*. Idea Dharma.

Sukirman, S. (2010). *Perencanaan tebal struktur perkerasan lentur*. Nova.

Triatmodjo, B. (2008). *Hidrolika II*. Beta Offset.

Wikanto, R. I., & Wibisono, R. E. (2024). Evaluasi saluran drainase Rayon Tandes terhadap saluran diversi pada box culvert di Jalan Babat Jerawat Surabaya. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, *2*(3), 326–336. https://doi.org/10.26740/mitrans.v2n3.p326-336

Yusuf, F. A., & Akbar, M. (2026). Penilaian kinerja drainase eksisting dan rekonstruksi berdasarkan perbandingan Qr-Qs di kawasan FIKK UNM Makassar. *Teknika*, *21*(1), 47–59. https://doi.org/10.26623/teknika.v21i1.13883

Zanjirani Farahani, H., & Farahani, A. (2023). Study on drainage of pavement layers and improvement strategies: Case study. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, *11*(1), 111–126. https://doi.org/10.22075/JRCE.2022.25393.1575