

Terowongan suplesi Bendungan Rukoh merupakan terowongan yang dibangun untuk mengarahkan air dari Sungai Krueng Inong menuju ke genangan utamanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi geologi teknik, desain sistem penyangga terowongan, dan kestabilan lereng portal outlet dengan mempertimbangkan kehadiran mineral mengembang. Penelitian terdahulu belum mempertimbangkan kehadiran mineral ini sebagai parameter masukan dalam analisisnya. Banyak kasus di dunia yang menemui permasalahan serius ketika mineral mengembang hadir, seperti terganggunya stabilitas sistem penyangga dalam kurun waktu yang lama akibat tekanan mengembang. Metode analisis *X-ray diffraction* (XRD), uji *free swelling ratio* (FSR), dan *swelling pressure* digunakan untuk mengetahui derajat mengembang mineral tersebut. Pemetaan geologi, identifikasi muka air tanah, karakterisasi batuan inti, dan pengujian laboratorium lainnya ditujukan untuk menentukan kualitas massa batuan dan desain sistem penyangga berdasarkan klasifikasi Q-system (Barton dkk., 1974). Analisis numerik juga dilakukan untuk mengevaluasi desain sistem penyangga dan kestabilan portal outletnya. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa terowongan tersusun oleh batulempung karbonatan, yang secara fisik dapat dibedakan menjadi batulempung masif (MR) dan hancur (CR). Kehadiran montmorillonit pada kedua jenis batuan mampu menghasilkan derajat mengembang yang tinggi hingga sangat tinggi ketika diuji dengan metode FSR. Pengujian lain berdasarkan SNI 6424-2008 menunjukkan bahwa batuan memiliki nilai *swelling ratio* berkisar 7,84 - 10,51%, dan *swelling pressure* sebesar 108 - 146 kPa yang dikategorikan sebagai *swelling pressure* tipe sedang. Pengaruh struktur geologi di daerah penelitian cukup intensif, dengan ditemukannya sesar turun, sesar naik, dan lipatan. Diskontinuitas yang ditemukan pada umumnya memiliki 3 set, rapat, dan lurus. Muka air tanah pada umumnya berada di bawah elevasi terowongan. Aktif dan dekatnya daerah penelitian dengan patahan aktif (< 10 km), memerlukan analisis beban gempa menggunakan metode deterministik dengan evaluasi spesifik situs. Hasil analisis menunjukkan nilai percepatan tanah puncak (PGA) sebesar 0,66 g (Nuraulia, 2023). Hasil karakterisasi dari kondisi-kondisi tersebut, menunjukkan bahwa terowongan memiliki kualitas massa batuan *extremely poor* dan *exceptionally poor* berdasarkan Q-system. Untuk itu, diperlukan sistem penyangga kategori 5 untuk massa batuan dengan kualitas *extremely poor* dan kategori 7 untuk kualitas *exceptionally poor*. Hasil analisis balik numerik gambar *Detailed Engineering Design* (DED) menunjukkan bahwa sistem penyangga tidak cukup kuat menahan beban batuan dan *swelling pressure*. Hal tersebut ditunjukkan dengan longsor yang kerap terjadi ketika penggalian dan deformasi pada *steel ribs* terpasang sebesar 17 cm. Direkomendasikan untuk memasang *forepoling* di atap dan dinding, serta beton *invert* di lantai setebal 30 cm, untuk memperkuat sistem penyangga hasil analisis empiris (kategori 5 dan 7) yang telah ditentukan. Hasil analisis maju numerik terhadap rekomendasi tersebut menunjukkan bahwa *total displacement* dan regangan yang terjadi pada sistem penyangga masih berada dalam batas keberterimaan deformasi yang diizinkan. Hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem penyangga sudah cukup yang stabil dan aman, baik kondisi statis maupun pseudostatis. Hasil analisis balik pada portal outlet menunjukkan bahwa longsor besar yang pernah terjadi disebabkan oleh runtuhnya lapisan CR ketika ekskavasi tengah berlangsung. Pemasangan *forepoling* mampu menjaga kestabilan terowongan dan portal outlet, sehingga penggalian dapat berlangsung kembali. Analisis maju numerik menunjukkan lereng portal outlet perlu perbaikan, antara lain pembentukan lereng dengan kemiringan 1:1, pemasangan *soil nailing*, dan pemasangan *shotcrete + wiremesh* pada permukaan lereng.

**Kata kunci:** mineral mengembang, Q-system, analisis numerik, sistem penyangga, terowongan, stabilitas lereng, Bendungan Rukoh

*The Rukoh Dam Diversion Tunnel was constructed to divert water from the Krueng Inong River to the main reservoir. This study aims to evaluate the engineering geological conditions, tunnel support system design, and outlet portal slope stability by considering the presence of swelling minerals. Previous study has been overlooked the presence of this mineral as an input parameter in their analyses. Numerous global cases have reported serious stability issues when swelling minerals are present, such as long-term deformation of support systems caused by swelling pressure. X-ray diffraction (XRD), free swelling ratio (FSR), and swelling pressure tests were conducted to quantify the swelling potential of the minerals. Geological mapping, groundwater identification, core rock characterization, and other laboratory analyses were performed to assess rock mass quality and determine tunnel support design based on the Q-system classification (Barton et al., 1974). Numerical analyses were also carried out to evaluate both the support design and outlet portal stability. The tunnel is composed of carbonate claystone, which can be divided into massive claystone (MR) and crushed claystone (CR). Montmorillonite was identified in both rock types, exhibiting high to very high swelling degrees according to FSR tests. Following SNI 6424-2008, the rocks showed swelling ratios ranging from 7.84% to 10.51% and swelling pressures between 108 and 146 kPa, categorized as moderate swelling pressure. The geological structures in the area are intensive, consisting of normal faults, reverse faults, and folds. Three main discontinuity sets with close spacing and planar geometry were observed. In general, the groundwater table is located below the tunnel elevation. Due to the site's proximity (<10 km) to an active fault, deterministic seismic analysis with site-specific evaluation was performed, yielding a peak ground acceleration (PGA) of 0.66 g (Nuraulia, 2023). The overall rock mass was classified as extremely poor and exceptionally poor quality based on the Q-system, requiring support categories 5 and 7, respectively. Numerical back-analysis of the Detailed Engineering Design (DED) indicated that the installed support system was insufficient to resist both rock load and swelling pressure, as evidenced by frequent collapses during excavation and a measured steel rib deformation of 17 cm. It is recommended to install forepoling on the roof and walls and a 30 cm-thick invert concrete layer to reinforce the empirically determined support system (categories 5 and 7). Numerical forward analysis of the proposed support system showed that the total displacement and strain remained within permissible deformation limits, indicating that the system is stable and safe under both static and pseudostatic conditions. Back-analysis of the outlet portal revealed that a major collapse occurred due to the failure of the CR layer during excavation. Forepoling effectively maintained tunnel and portal stability, allowing excavation to continue. Forward analysis suggests that slope improvement measures—such as regrading to a 1:1 slope, installing soil nails, and applying shotcrete with wire mesh—are necessary for long-term stability.*

**Keywords:** *swelling minerals, Q-system, numerical analysis, support system, tunnel, slope stability, Rukoh Tunnel*