

DATE 16 April 2014

REFERENCE No. 138716004-016-TM-Rev2 ES

TO Rustam Effendi
BP Berau Ltd

CC

FROM Budi Satriyo
Geoff Perryman

EMAIL bsatriyo@golder.co.id
gperryman@golder.co.id

**TANGGUH EXPANSION PROJECT – GROUNDWATER STUDY
PRELIMINARY ANALYSIS OF SUBSIDENCE DUE TO GROUNDWATER ABSTRACTION**

EXECUTIVE SUMMARY (ENGLISH)

Golder has conducted a preliminary settlement analysis to estimate potential ground subsidence due to proposed groundwater abstraction from 4 proposed production wells at the Tangguh LNG facility site. The subsidence calculation was based on the conceptual groundwater model developed and corresponding drawdown results from the interim groundwater modelling for the Tangguh Expansion Project – Groundwater Study. The subsidence was calculated at selected locations including the proposed wells along Tangguh LNG facility boundary. Drawdown data from the upper and lower aquifers within the Steenkool Formation was taken into account in the subsidence calculation. The drawdown causes compression in the affected aquifers and aquitards due to decreased pore water pressures and corresponding increase in effective stresses in the soil layers. It was assumed that the compression in the aquifers occurs concurrently with the drawdown, whilst compression the low permeability aquitards is a time dependent process which depends on the degree of consolidation. A site plan depicting contours of predicted subsidence within Tangguh LNG facility property boundary was produced by interpolating subsidence at the selected locations. Plots of subsidence over time at selected points including at the proposed wells and along the Tangguh LNG facility boundary were also derived from consolidation settlement analysis in the subsidence calculation.

The estimated subsidence after 29 years (end of operation) along the Tangguh LNG facility property boundary ranges from 1.2 cm to 2.8 cm and up to 4.0 cm locally at PW3 near the western boundary where a subsidence monitoring station is proposed. The maximum calculated subsidence was 4.3 cm coinciding with Production Wells PW-1 and PW-2. The estimated subsidence during the operation of the wells (29 years) is therefore less than the adopted mitigation trigger of 5 cm for the Tangguh LNG facility boundary. About 30% of the subsidence occurs during the 4 year construction period, whilst the average degree of consolidation taking into account all the affected aquitards is around 90% at the end of operations and pumping (29 years). It is anticipated that on closure (29 years) that groundwater abstraction will cease, hence pore pressures should increase and cause a reduction in effective stress in the ground which will result in partial rebound.



EXECUTIVE SUMMARY (BAHASA INDONESIA)

Golder melakukan perhitungan amblasan sebagai akibat dari rencana pemanfaatan air tanah Tangguh LNG dari 4 sumur produksi. Perhitungan amblasan dilakukan berdasarkan pemodelan air tanah konseptual yang dilakukan untuk Studi Air Tanah Proyek Pengembangan Tangguh LNG dan penurunan muka air tanah hasil dari pemodelan tersebut. Data penurunan muka air tanah dari akuifer-akuifer atas dan bawah dalam Formasi Steenkool hasil pemodelan menjadi dasar dalam perhitungan amblasan. Penurunan muka air tanah menyebabkan pemampatan pada akuifer-akuifer dan akuitar-akuitar yang dipengaruhi oleh pemanfaatan air tanah akibat dari penurunan tekanan air pori tanah dan kenaikan tegangan efektif. Perhitungan amblasan mengikuti asumsi diambil bahwa pemampatan pada akuifer-akuifer terjadi bersamaan dengan penurunan muka air tanah, sementara merupakan proses yang bergantung pada waktu berdasarkan derajat konsolidasi di akuitar-akuitar. Denah rencana yang memperlihatkan kontur amblasan di dalam wilayah batas pagar Tangguh LNG dibuat berdasarkan dari hasil interpolasi amblasan pada titik-titik yang telah kami tentukan. Perubahan amblasan terhadap waktu yang disajikan dalam bentuk plot pada titik-titik tertentu sepanjang batas pagar Tangguh LNG dan pada lokasi-lokasi sumur produksi dibuat berdasarkan perhitungan pemampatan akibat konsolidasi pada perhitungan amblasan.

Perkiraan amblasan yang terjadi setelah masa pemanfaatan air selama 29 tahun sepanjang batas pagar Tangguh LNG berkisar antara 1,2 cm sampai 2,8 cm dan bisa sampai 4,0 cm pada lokasi sumur PW3 dekat batas pagar bagian barat yang disarankan dipasang alat pemantauan amblasan. Amblasan maksimum hasil perhitungan adalah 4,3 cm yang berada pada lokasi sumur PW-1 dan PW-2. Dengan demikian, perkiraan amblasan yang terjadi selama masa pemanfaatan air (29 tahun) di wilayah batas pagar Tangguh LNG lebih kecil dari 5 cm yang merupakan batas amblasan yang memerlukan mitigasi. Sekitar 30% dari amblasan terjadi selama masa konstruksi sumur-sumur (4 tahun) dengan derajat konsolidasi rata-rata mempertimbangkan semua aquitar yang terkena dampak pemanfaatan air tanah adalah sekitar 90 % setelah akhir pemanfaatan air tanah (29 tahun). Pada akhir pemanfaatan air tanah, tekanan air pori akan bertambah yang mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif tanah sehingga amblasan diperkirakan akan berkurang sebagian.