

Abstract

In areas of dense buildings often found limitations of the land, resulting in the possibility that new building foundation coincides or lies below the existing foundation and excavation leads to instability of the existing foundation. Similar problem also encountered in the construction of underground infrastructure and old building restoration where the existing foundation must be strengthened. A row of bored pile or diaphragm wall are commonly used for securing of excavation. Alternatively it is more economical to do underpinning by means of grouting, soil nailing and micropile, in which each method has its own advantages and disadvantages. The system of underpinning provides advantages over the diaphragm wall and bored pile because it can support the load directly and saves space. This paper aims to introduce the principles of design, implementation, anticipated actions and legal aspects of underpinning.

Key words : underpinning, grouting, soil nailing, micropile, legal aspects

Pendahuluan

Perluasan bangunan baik secara horisontal maupun vertikal, atau pembangunan baru yang berbatasan langsung dengan bangunan lama memerlukan perkuatan pondasi bangunan lama serta tindakan pengamanan bangunan lama. Perkuatan pondasi bangunan lama dapat dilakukan dengan beberapa metoda antara lain : 'underpinning' klasik, 'micropile', 'grouting', paku tanah maupun kombinasi dari metoda-metoda tersebut.

Metoda klasik

Metoda 'underpinning' klasik (galian terbuka, tanpa pengaman) dapat dilaksanakan pada tanah kohesif kenyal maupun tanah granuler (kepadatan lapangan sedang) dengan batasan sebagai berikut :

1. bangunan rumah tinggal atau perkantoran maksimal 5 lantai atau bangunan lain dengan ketinggian, jenis pondasi dan tegangan tanah yang setara (beban lajur $p = 250 \text{ kN/m}$).
2. bangunan di atas pondasi lajur dan dinding bangunan memberikan efek cakram; di mana pintu dan jendela harus ditembok atau diperkaku.
3. beban utama pada tanah dasar di area galian berupa beban vertikal pondasi bangunan lama dan harus diwaspadai terjadinya efek busur.
4. kedalaman galian tidak melebihi 5 m di bawah permukaan tanah, disertai perhitungan statika.

Pada jenis tanah pasir lepas sebaiknya tidak dilaksanakan 'underpinning' klasik karena sangat rentan terhadap fluktuasi muka air tanah. Pekerjaan galian pada tanah pasir halus dan tanah kelanauan harus memperhitungkan stabilitas lereng, mengingat sifatnya yang sangat rentan terhadap fluktuasi kadar air, kenaikan sedikit kadar air saja berakibat perubahan konsistensi tanah dari padat menjadi cair.

Micropile

'Micropile' merupakan pondasi tiang bor dengan diameter kecil ($D < 30 \text{ cm}$) dengan posisi tegak atau miring dengan panjang sesuai kebutuhan; umumnya

digunakan diameter 25 cm. 'Micropile' insitu menggunakan tulangan baja memanjang atau batang baja dan dicor beton pada lobang bor. Pemboran tidak boleh menggunakan 'water jetting', sedangkan tinggi ruang kerja minimal 1,8 m. Kapasitas dukung 'micropile' dipengaruhi oleh diameter dan panjang tiang, mutu beton dan tulangan serta parameter tanah dasar. Untuk menentukan kapasitas dukung aktual dapat dilakukan pengujian pembebanan di lapangan, sedangkan untuk mengatasi gaya-gaya lateral dari bangunan maupun tanah diperlukan pemasangan ankur pada dinding tiang. Sebagai perlindungan agar tanah tidak menembus celah-celah deretan tiang maka celah-celah tersebut diisi dengan beton tembak (shotcrete). 'Micropile' banyak digunakan untuk pondasi bangunan monumental dan infrastruktur bawah tanah. Meskipun memerlukan biaya cukup besar, namun metoda ini memberikan keunggulan yaitu dapat membatasi bahaya penurunan.

Stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah untuk pengamanan bangunan eksisting umumnya dilakukan pada jenis tanah dasar granuler. Ditinjau dari bahan stabilisasi dapat dibedakan injeksi semen, gel silikat dan bahan kimiawi. Injeksi semen sangat sesuai untuk tanah kerikil sedangkan gel silikat untuk tanah pasir. Injeksi bahan kimiawi sangat mahal dan hanya digunakan pada keadaan khusus. Mengingat bahaya pencemaran lingkungan (kontaminasi tanah dan air) maka injeksi kimiawi sangat dibatasi pemakaiannya dan digantikan dengan teknik injeksi bertekanan tinggi 'jet grouting' yang lebih ramah lingkungan. Untuk ini dikembangkan produk semen ultra halus untuk injeksi tanah berpori kecil. Penetrasi bahan injeksi ke dalam ruang pori tanah melalui lobang bor dan pipa injeksi, dengan tekanan antara 5 – 10 bar. Perkembangan selanjutnya menggunakan pipa manset yang dimasukkan ke dalam lobang bor. Ruang antara dinding lobang bor dan pipa manset diisi dengan larutan penyangga, sedangkan jarak antar pipa berkisar 0,5 – 1,0 m. Proses penetrasi dikendalikan oleh alat penetrasi terpusat. Sebelum dimulai pekerjaan injeksi, diperlukan penyelidikan tanah secara komprehensif

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

serta pengujian sifat bahan injeksi. Selain itu dilakukan juga pengamatan bangunan lama dan tes hasil pekerjaan injeksi. Protokol lapangan harus mencantumkan secara rinci mengenai metoda pelaksanaan penetrasi, volume, waktu dan tekanan injeksi. Dengan penggalian, pemboran atau sondir dapat dilakukan pengujian lapangan dan pengambilan sampel untuk tes laboratorium. Injeksi dengan gel silikat memerlukan pengujian tes rayapan monoaksial sehingga dapat dikaji kriteria dan perilaku deformasi stabilisasi tanah.

Paku tanah.

Guna meningkatkan kuat tarik serta kuat geser tanah dapat dilakukan pemasangan paku tanah (soil nailing) yang berfungsi sebagai komponen struktur. Prinsip ini yang ditransfer dari mekanika batuan, seringkali digunakan dalam pekerjaan 'underpinning' sebagai elemen penyangga temporer maupun permanen. Dalam pelaksanaannya, tanah di bawah pondasi digali secara segmental dengan kedalaman 1,0 – 1,5 m dan diperkuat dengan 'shotcrete' bertulang. Pemasangan batang tulangan (Gewi-steel berdiameter 20 hingga 28 cm) maupun proses injeksi dilakukan menurut cara yang lazim pada pemasangan ankur, namun dalam hal ini berkaitan dengan tulangan yang ekstra panjang. Paku tanah tidak diberi tekanan 'prestressed' dan pada fase penggalian berikutnya dapat dilakukan penembokan yang lebih panjang. Tebal 'shotcrete' bertulang pada pekerjaan temporer berkisar 10 – 15 cm, sedangkan pada pekerjaan permanen berkisar 15 – 25 cm. Panjang batang tulangan untuk paku tanah sekitar 0,5 – 0,7 tinggi dinding, sedangkan jarak antar paku ditentukan berdasarkan perhitungan statika dengan pengkajian faktor aman internal maupun eksternal massa tanah yang dipaku. Beberapa faktor aman yang perlu dikaji antara lain : gaya geser di dalam maupun di bawah massa tanah yang dipaku, pembuktian bahwa resultan semua gaya statis memotong alas di dalam inti dan faktor aman terhadap kelongsoran tanah. Penentuan dimensi paku tanah mengacu pada hasil perhitungan yang menghasilkan gaya terbesar bagi paku tanah, sedangkan tebal 'shotcrete' ditentukan berdasarkan tekanan aktif tanah. Dalam zona kepala paku perlu dikaji besarnya gaya geser pons (tembus) yang terjadi. Beban rencana dari hasil perhitungan statika harus diuji dengan percobaan pembebanan di lapangan, minimal 3 % dari jumlah paku atau tiga paku pada tiga jenis tanah yang berlainan. Pada pekerjaan yang kurang dari 100 paku, perlu diuji minimal 5 % dari jumlah paku.

Persiapan 'underpinning'

Penyelidikan awal dilakukan untuk mempelajari gambar teknis dari bangunan eksisting baik mengenai pondasi maupun struktur atas, termasuk statikanya. Selanjutnya dibuat gambar rencana 'underpinning' yang harus disetujui oleh pemilik bangunan maupun ijin dari instansi pemerintah. Sebelum pelaksanaan, haruslah dilakukan pembuktian faktor aman. Data kondisi eksisting bangunan perlu didokumentasikan, retak-retak yang ada dapat diamati dengan diberi

tanda/marka dari gips. Pengukuran penurunan dan deformasi bangunan diperlukan untuk mengantisipasi risiko kegagalan. Penyelidikan tanah di lapangan maupun laboratorium sangat diperlukan untuk menentukan parameter tanah dalam perancangan.

Perancangan 'underpinning'

Dalam pelaksanaan 'underpinning', sinergi dan interaksi dari semua 'stakeholder' sangat menentukan hasil akhir. Diperlukan koordinasi antara arsitek, ahli struktur dan ahli geoteknik maupun pihak pelaksana. Hasil penyelidikan awal harus menjadi bahan pertimbangan dalam proses perancangan, khususnya gambar konstruksi harus memuat hal-hal berikut :

1. Gambar denah dan potongan bangunan rencana.
2. Gambar denah dan potongan bangunan eksisting, detail pondasi, dinding dan atap.
3. Ukuran tindakan pengamanan pada bangunan eksisting.
4. Tanah dasar dan kondisi air tanah.
5. Batas kedalaman galian dan struktur pengaman.
6. Rencana kerja meliputi detail setiap tahapan.
7. Gambar denah 'underpinning', detail potongan dan spesifikasi teknis material

Perancangan 'underpinning' harus memperhitungkan berbagai kombinasi pembebanan, karena pembebanan vertikal dapat meningkatkan momen penahan, sehingga harus diperhitungkan pula terjadinya tekanan ekstrim. Yang perlu diwaspadai adalah pelaksanaan 'underpinning' pada bangunan dengan beban kerja kecil, misalnya garasi. Selain tekanan tanah aktif, perlu diperhitungkan juga tekanan tanah diam, utamanya pada 'underpinning' tanpa ankur penahan. 'Underpinning' yang melebihi tinggi 2 m harus menggunakan ankur atau konstruksi penahan lainnya, agar tidak terjadi deformasi yang berlebihan. 'Underpinning' kimiawi berfungsi sebagai dinding penahan tanah dengan tinggi maksimal 2,5 m; dan di atas ketinggian itu harus diperkuat dengan ankur. Berat jenis massa injeksi berkisar 19 – 21 kN/m³. Gaya-gaya yang harus diperhitungkan harus mencakup beban maksimal dan minimal bangunan. Perhitungan tekanan tanah harus mengkaji tekanan tanah aktif maupun tekanan tanah diam, tergantung deformasi yang diijinkan pada sistem 'underpinning'. Distribusi tekanan tanah akibat beban bangunan dapat diperhitungkan menurut metoda Boussinesq.

Pengamanan bangunan lama

Dalam pelaksanaan 'underpinning', selain perkuatan pondasi eksisting diperlukan juga tindakan pengamanan terhadap bangunan tetangga akibat galian terbuka yang menyebabkan perubahan terhadap geostatika. Tindakan pengamanan ini mutlak dilakukan khususnya untuk bangunan yang dindingnya berimpit. Pengamanan tersebut dapat berupa :

1. 'Tie back' (pengankuran) komponen bangunan yang rawan.
2. Memperkaku dinding, penembokan bagian yang terbuka.
3. Penyangga lateral antar dua dinding bangunan yang berdekatan.

4. Pemantauan secara periodik hasil pengukuran deformasi di lapangan.
5. Peringatan dini terhadap kemungkinan bahaya yang akan terjadi.

Antisipasi risiko 'underpinning' klasik

Jenis tanah dasar dengan kohesi semu perlu diwaspadai, karena sangat rentan terhadap fluktuasi kadar air. Pada musim hujan konsistensi tanah ini mudah berubah menjadi cair yang berakibat penurunan daya dukung dan stabilitas lereng. Proses pengeringan tanah sewaktu penggalian dan kesalahan estimasi parameter tanah dapat menyebabkan situasi yang rawan kegagalan. Kohesi semu yang menyesatkan bisa menghasilkan tindakan pengamanan yang kurang memadai, misalnya kemiringan galian terlalu terjal. Pada jenis tanah pasir perlu dikaji pula mekanisme aliran air tanah. Pelaksanaan 'underpinning' klasik dalam kondisi demikian juga memerlukan tindakan pengamanan ekstra terhadap bangunan tetangga. 'Underpinning' pondasi bangunan dengan beban vertikal kecil akan menghasilkan momen penahan yang kecil pula sehingga tidak mampu mengimbangi momen pengguling akibat tekanan tanah aktif. Umumnya pekerjaan 'underpinning' dengan beban vertikal kecil pada tanah pasir tanpa struktur pengaman dibatasi hingga kedalaman 0,5 m.

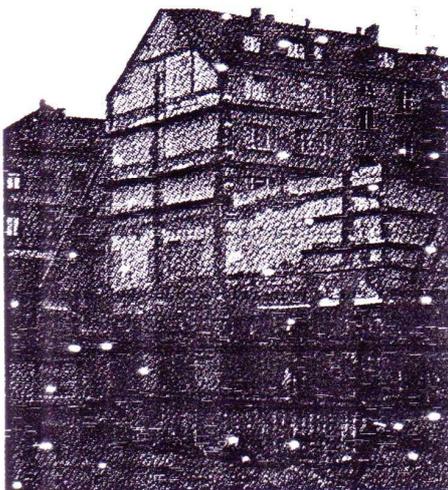
Kesimpulan

Tulisan di atas membahas beberapa aspek teknis pekerjaan 'underpinning', namun perlu diperhatikan pula beberapa aspek hukum terkait. Codex Hammurabi dapat menjadi acuan hukum atau peraturan mengenai pekerjaan 'underpinning'. Dalam Kitab

Undang-Undang Hukum Perdata Jerman (Bürgerlichen Gesetzbuch) § 909 B66 diatur sebagai berikut : “Suatu lahan tidak boleh digali sehingga membahayakan bangunan tetangga, kecuali dilakukan tindakan pengamanan yang terjamin.” Ini berarti bahwa perencanaan dan metoda pelaksanaannya harus mendapat persetujuan tetangga. Sedangkan dalam Kitab Undang-Undang Hukum Perdata negara bagian Niedersachsen mengenai 'underpinning' mencantumkan sebagai berikut : “Perkuatan pondasi tembok batas hanya boleh dilaksanakan apabila (1) tidak ada alternatif penyelesaian teknis lain yang layak untuk dilaksanakan dan (2) tidak menimbulkan kerusakan pada bangunan tetangga”. Jelaslah bahwa 'underpinning' awalnya merupakan permasalahan teknis, namun dalam pelaksanaannya diperlukan sinergi dari semua 'stakeholder' agar tercapai hasil pelaksanaan secara maksimal.

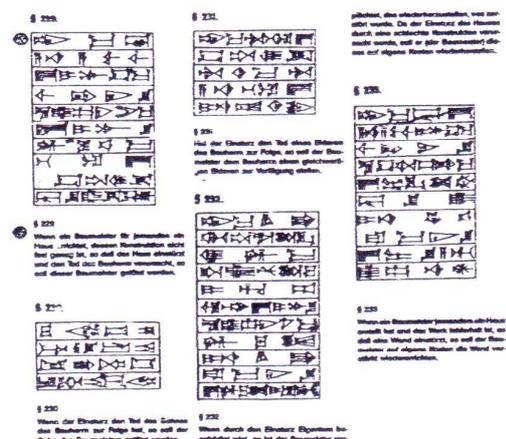
Daftar Pustaka

1. Englert, K; Bauer, K (1986) : *Rechtsfragen zum Baugrund*. Werner Verlag.
2. Hilmer, K (1975) : *Anwendung der chemischen Bodenverfestigung bei Unterfangungen*. LGA-Rundschau 1975, Heft 1.
3. Rizkallah, V (2000) : *Unterfangungen*, Vorlesungsschrift, Universität Hannover.
4. Smoltczyk, U (1982) : *Unterfangungen und Unterfahrungen*. Grundbautaschenbuch, 3. Auflage, Verlag Wilhelm Ernst + Sohn, Berlin.
5. Schultze, E; Muhs, H (1967) : *Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten*. Springer Verlag Berlin.
6. Trinkner, R (1985) : *Der Sachverständige 1985*, Heft 4. Verlag, *Recht und Wirtschaft*, Heidelberg.



Gambar 1 pelaksanaan 'Underpinning'

Produkthaftung aus dem Codex Hammurabi*



Gambar 2 Codex hammurabi

