POLA KERUSAKAN BANGUNAN DI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI NGAWI JAWA TIMUR

Handali, S.[1], Jumadi [2], Telaumbanua, J.[3]
[1]Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta
e-mail : safehandali@yahoo.com

[2]Alumni S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta
[3]Alumni S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the various patterns of damage that occured on structures built on an expansive clay deposit in Ngawi, East Jawa. Various damage patterns on buildings and roads due to the movement of the foundation soil were observed and compared with known damage patterns obtained from the literatures in order to understand how the movement and deformation of the soil led to a particular type of damage.

Observation carried out on the floors of the affected buildings revealed cracks that were in parallel directions with the walls. Other cracks were in diagonal direction of the floor as well as those which were perpendicular to the diagonal direction of the floor. The walls have vertical, horizontal as well as slanted cracks and cracks that were originally oriented in the vertical direction but then turned to the horizontal direction, or vice versa. Comparisons with known crack patterns from the literatures revealed that the crack patterns observed on the floors and walls were the result of the seasonal heaving and sinking of the subsoil, resulting in the floor to experience alternating change in shape from convex to concave and different parts of the walls to experience tensile forces. Heaving and shrinking of the soil was worst in parts of the buildings that were located adjacent to the outside the buildings because of the 'edge lift' and 'doming' phonomena that happened at the interface between the inside and outside of the buildings.

Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mengalami pengembangan dan penyusutan yang tinggi akibat perubahan kadar air. Akibat fluktuasi kadar air, tanah ekspansif mengalami siklus pengembangan dan penyusutan pada setiap pergantian musim hujan dan musim kemarau, yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang dibangun diatasnya. Endapan tanah ekspansif tersebar di berbagai negara di dunia, khususnya di daerah-daerah beriklim tropis dan subtropis seperti Argentina, Australia, Myanmar, Kuba, Ethiopia, Afrika Selatan, Rhodesia, Ghana, India, Iran, Maroko, Meksiko, Spanyol dan Turki, serta di negara-negara beriklim dingin seperti Amerika Serikat dan Canada. Di

Indonesia Tanah ekspansif meliputi hampir 20% luas tanah di Pulau Jawa, dan kurang lebih 25% luas tanah di Indonesia (Herina, 2005). Di Pulau Jawa tanah ekspansif dapat dijumpai di sepanjang Pantai Utara. Tanah ekspansif di daerah ini tersusun oleh endapan aluvial. Di daerah perbukitan rendah tanah ekspansif terbentuk dari endapan vulkanik, seperti yang ditemui di Jakarta, Cikampek, Yogyakarta, Wates, Semarang, Demak, Kudus, Purwodadi, Ngawi, Caruban, Gresik, Lamongan, dan Surabaya. Tanah ekspansif yang terbentuk dari endapan vulkanik pada umumnya mengandung mineral lempung berjenis *montmorillonite* (Suherman, 2003).

Salah satu kota di Indonesia yang banyak mengalami kerugian akibat rusaknya bangunan-bangunan yang didirikan di tanah ekspansif adalah kota Ngawi di Jawa Timur. Sudjianto (2009) menemukan bahwa tanah lempung di Ngawi mengandung mineral lempung *montmorillonite* yang mempunyai potensi kembang susut yang sangat tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo (2010) terhadap tanah lempung Ngawi menunjukkan bahwa derajad ekspansif tanah tersebut termasuk dalam katagori tinggi dan sangat tinggi berdasarkan kriteria yang diusulkan oleh Seed et al, 1962 dan Van der Merwe, 1975 (lihat Appendix).

Endapan ekspansif di Ngawi ditemui di banyak tempat, misalnya di desa Margo Mulyo yang dilalui Jalan Raya Yogyakarta-Surabaya, di dusun Natah, dusun Mandi Asri, Gembol, daerah-daerah Pandas, Beran, Karanjati dan di lokasi gedung DPRD Tingkat II Ngawi (Jumadi, 1992). Bangunan yang rusak di daerah-daerah tersebut sebagian besar adalah rumah penduduk dan gedung-gedung, termasuk gedung sekolah, dan fasilitas umum seperti jalan raya dan trotoar. Tipe kerusakan yang diamati antara lain miringnya dinding rumah, naik atau turunnya bagian lantai terhadap bagian lainnya, retak-retak pada lantain dan dinding, jalan yang bergelombang dan pembengkakan atau kecekungan badan jalan relatif terhadap tepi jalan (Jumadi, 1992).

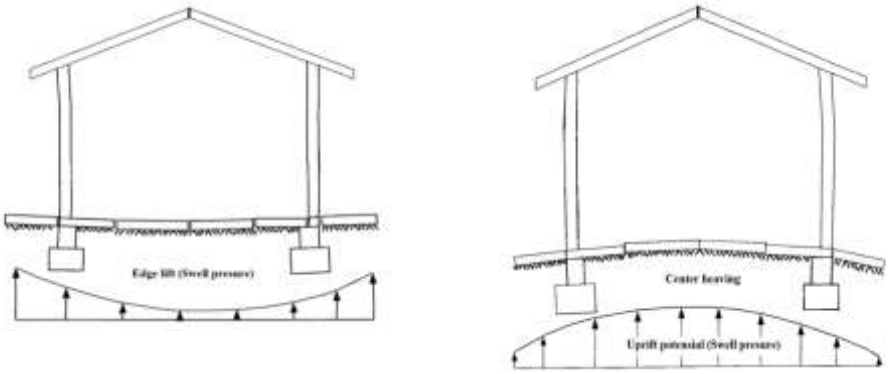
Keretakan pada dinding, lantai dan pondasi bangunan yang didirikan di atas tanah ekspansif disebabkan karena tanah mengalami proses mengembang dan menyusut secara silih berganti. Pengembangan dan penyusutan tanah disebabkan karena perubahan kadar air tanah yang terjadi akibat siklus musim hujan dan kemarau. Pada musim hujan, serapan air oleh tanah menyebabkan pengembangan tanah. Sebaliknya, pada musim kemarau penguapan air tanah menyebabkan penyusutan. Semua jenis tanah yang mengandung mineral lempung mengembang dan menyusut akibat perubahan kadar air. Pada tanah yang

mengandung mineral lempung ekspansif pengembangan dan penyusutan melibatkan perubahan volume tanah yang besar sehingga mempengaruhi keutuhan bangunan.

Selain diakibatkan oleh tingginya perubahan volume tanah pada pengembangan dan penyusutan, kerusakan pada bangunan juga disebabkan karena adanya ketidak meratanya pengembangan dan penyusutan tanah di bawah bangunan. Sebagai contoh, di dalam setiap ruangan pada bangunan dapat diamati tingkat pengembangan/penyusutan yang berbeda di bagian-bagian ruangan tersebut. Di saat tertentu lantai di bagian tengah ruangan lebih rendah dibandingkan dengan di tepi ruangan, yang berbatasan dengan dinding. Di saat lain, hal yang sebaliknya dapat terjadi. Kondisi ini timbul karena adanya perbedaaan ketebalan tanah ekspansif di bagian tengah ruangan dan tepi ruangan. Di bagian tepi ruangan, lantai dekat dinding sebagian bertumpu pada fondasi dinding. Ketebalan tanah ekspansif di bawah fondasi lebih kecil dibandingkan dengan ketebalan tanah di bagian tengah ruangan. Akibatnya tanah di bagian tengah ruangan mengalami perubahan volume yang lebih besar akibat penyerapan/pengeluaran air pori, dibandingkan dengan tanah di bagian dinding, yang menyebabkan lantai ruangan dapat menjadi cembung (*doming*) atau cekung *(edge lift*). Selain hal tersebut, adanya beban yang bertumpu pada fondasi dinding (berat dinding dan berat sebagian atap yang bertumpu pada dinding) menyebabkan tanah di bawah fondasi tidak dapat mengembang sebesar seperti tanah di bagian tengah ruangan yang hanya dibebani oleh ubin dan perabot.

Hal lain yang menyebabkan tidak meratanya tingkat penyerapan dan pengeluaran air pori pada pergantian musim kemarau dan musim hujan. Tidak meratanya perubahan volume tanah menyebabkan timbulnya perbedaan tinggi tanah di dasar bangunan yang menyebabkan kerusakan-kerusakan pada bagian-bagian bangunan. Bagian tepi bangunan (yang langsung bersebelahan dengan halaman) adalah bagian yang mengalami perbedaan intensitas penyerapan air yang paling tinggi dibandingkan dengan bagian dalam/tengah bangunan. Karena langsung bersinggungan dengan halaman, tanah di bagian tepi bangunan lebih cepat menyerap air (pada waktu hujan) dan sebaliknya lebih cepat menjadi kering (pada musim kemarau) dibandingkan dengan bagian dalam bangunan (Lucian, 2006). Akibatnya, pada awal musim hujan, bagian tepi bangunan (misalnya ruang tamu atau ruang lain yang memiliki dinding yang berbatasan dengan pekarangan, selasar) mengalami pengangkatan yang lebih cepat dibandingkan dengan yang dialami oleh bagian dalam bangunan. Ini mengakibatkan bagian tepi bangunan terangkat lebih tinggi

dibandingkan dengan bagian dalam bangunan, yang menyebabkan kecekungan atau *edge lift* (Lihat Gambar 1(a)). Pola cekungan tidak bertahan seterusnya karena pergantian musim hujan ke musim kemarau akan mengakibatkan profil tanah di bawah bangunan menjadi cembung (*doming*) seperti yang terlihat pada Gambar 1(b). *Doming* disebabkan karena air pori pada tanah di bagian dalam bangunan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengering dibandingkan air pori tanah di daerah tepi bangunan pada musim kemarau, karena tanah di bagian tepi bangunan langsung terkena sinar matahari.

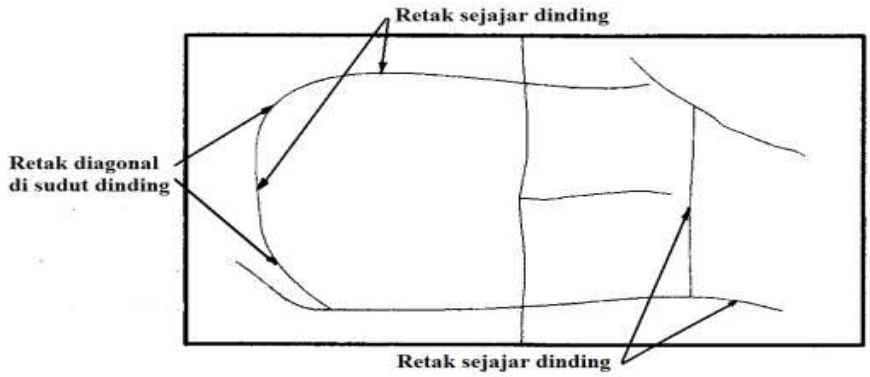


(a) *edge lift* (b) *doming*

Gambar 1 Penyusutan tanah ekspansif di dasar bangunan dengan pola cekungan (*edge lift*) dan pola kubah (*doming*), Lucian (2006)

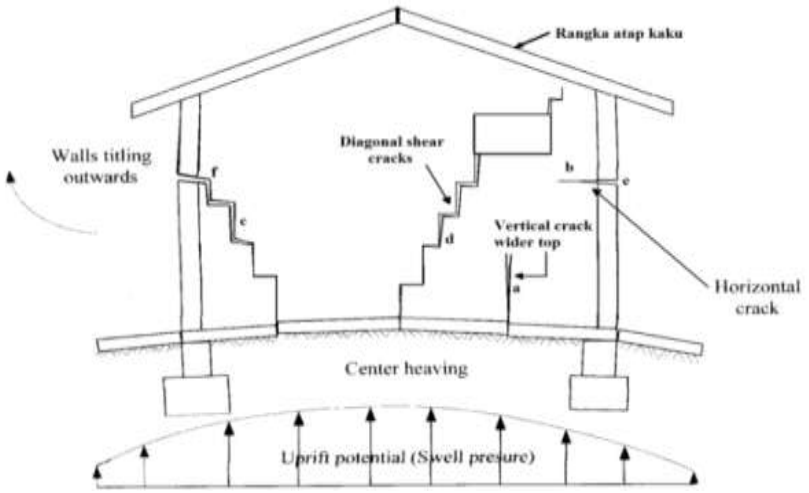
Pola Kerusakan Bangunan yang Didirikan di atas Tanah Ekspansif

Perubahan bentuk permukaan tanah di bawah ruangan atau bangunan yang silih berganti mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang terletak di atas tanah ekspansif. Kerusakan pada lantai disebabkan karena perubahan bentuk permukaan tanah dibawah lantai akibat perubahan kadar air tanah. Tanah dalam ruangan yang menjadi cembung menyebabkan pengangkatan lantai di bagian ruangan yang lebih dari pada bagian tepi ruangan. Pada saat kadar air tanah berkurang, permukaan tanah dibawah lantai turun lebih besar dari pada bagian tepi sehingga menyebabkan lantai menjadi cekung. Turun naiknya lantai dibagian tengah bangunan menyebabkan keretakan lantai yang cenderung sejajar dengan dinding (Day, 1999). Ransom (1981) mengemukakan bahwa keretakan pada lantai cenderung berarah sejajar dinding dan merambat diarah diagonal pada sudut dinding bangunan (Gambar 2).



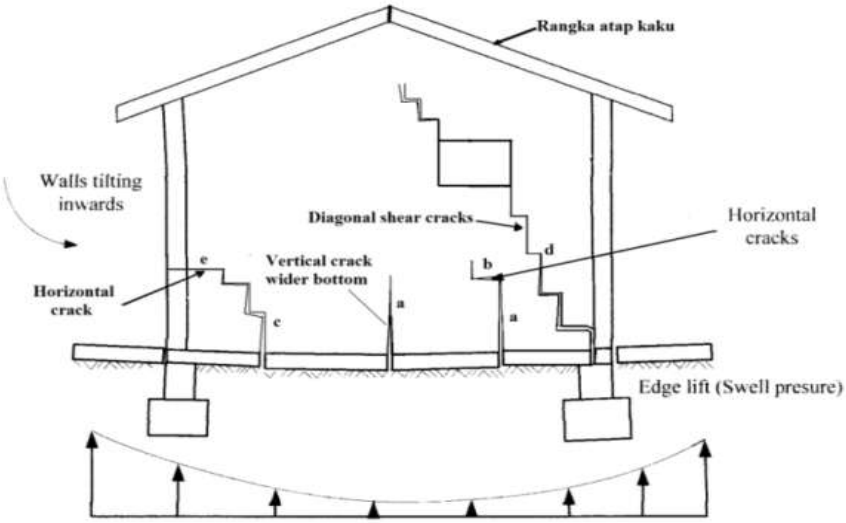
Gambar 2 Pola retakan pada lantai bangunan (Ransom, 1981)

Gambar 3 menunjukkan tipe kerusakan dinding akibat pola permukaan tanah *doming* yang menyebabkan kemiringan dinding ke arah luar. Kemiringan dinding ke arah luar menyebabkan retak vertikal (titik a pada Gambar 3), horizontal (titik b) dan diagonal (titik c). Dinding yang melebar di bagian atas menyebabkan kemacetan pintu dan jendela akibat desakan atau tekukan dari dinding. Pada sudut bawah kosen jendela terlihat retakan diarah diagonal (titik d). Retakan pada sudut kosen disebabkan karena adanya lubang jendela pada bagian dinding tersebut mengurangi kekuatan dinding menahan gaya geser. Retakan pada dinding dengan mudah menjalar dari sudut kosen jendela yang disebabkan karena titik tersebut adalah bagian yang paling lemah dalam menahan gaya tarik akibat condongnya dinding luar. Retak horizontal (titik e) dan retak miring (titik f) disebabkan karena dinding bagian bawah condong kearah luar sedangkan posisi dinding bagian atas tertahan oleh kekakuan rangka atap yang menyebabkan pecahnya dinding pada daerah (titik e) dan (titik f).



Gambar 3 Pola retakan pada bangunan akibat *doming* (Lucian, 2006)

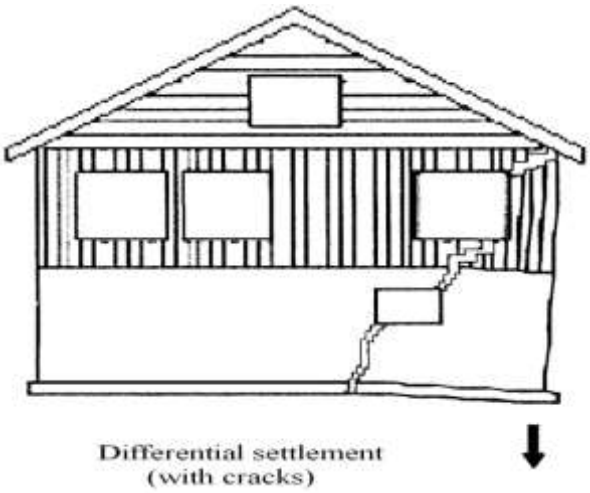
Pola *edge lift* umumnya menyebabkan tepi pelat lantai lebih tinggi dari bagian tengah sehingga dinding luar dalam struktur bawah cenderung condong kedalam (Gambar 4). Melengkungnya bagian bawah dinding menyebabkan tertariknya dinding bagian bawah diarah horizontal yang menyebabkan sobeknya dinding kearah atas (retak vertikal a, c dan retak diagonal d). Condongnya dinding bagian bawah kearah dalam tidak diikuti oleh dinding bagian atas yang tetap pada posisinya akibat kekakuan atap. Akibatnya dinding sobek di titik e diarah horizontal. Retak horizontal tersebut bertemu dengan retak vertikal c yang menyebabkan retak diagonal yang menghubungkan kedua retak tersebut. Akibatnya retak vertikal (a), horizontal (b), dan retakan diagonal (c) pada dinding melebar ke bagian bawah dinding. Ini disebabkan karena dinding mengalami tegangan tarik yang menyebabkan keretakan disepanjang bagian bawah dinding. Retakan diagonal (d) dapat dilihat pada sudut kosen jendela disebabkan karena titik tersebut lemah akibat lubang yang terdapat pada dinding. Tetapi retakan pada dinding semakin sempit pada sudut kosen jendela karena bagian tersebut tidak bisa menahan gaya desak dari dinding luar bagian bawah yang bergerak condong kedalam.



Gambar 4 Pola retakan pada bangunan akibat *edge lift* (Lucian, 2006)

Penurunan bangunan yang merata tidak akan berpengaruh pada integritas bangunan sehingga tidak menimbulkan keretakan. Penurunan bangunan secara diferensial pada salah satu sudut bangunan dapat mengakibatkan keretakan bangunan. Dapat dilihat pada Gambar 5 adanya keretakan diagonal pada dinding yang terbentang dari dasar dinding ke tepi dinding bagian atas akibat turunnya salah satu sisi bangunan lebih dari sisi bangunan

lainnya. Keretakan diagonal seperti pada gambar ini disebabkan oleh penurunan pondasi pada satu sisi bangunan saja yang mungkin disebabkan karena penurunan tanah dibawah pondasi tersebut.



Gambar 5 Pola retakan pada bangunan akibat penurunan diferensial

Pola Kerusakan Lantai

Gambar 6 (a) menunjukkan retak horizontal pada dinding gedung SMA Negeri I yang berada di Jl. A. Yani No. 45 yang diamati pada tahun 1991 (Jumadi, 1992). Pada Gambar 6 (b), diambil pada waktu yang sama, dapat diamati pula adanya retak horizontal dan vertikal yang terjadi pada pertemuan dua dinding yang kemudian merambat kebawah bahkan menjalar pada lantai (Jumadi, 1992).

(a)

(b)

Gambar 6. Retakan horizontal pada dinding SMAN I di kota Ngawi yang diamati pada tahun 1991 (Jumadi,1992)

Pada penelitian yang dilaporkan disini pengamatan terhadap pola kerusakan akibat pergerakan tanah ekspansif dilakukan pada bangunan yang terbuat dari pasangan batu yaitu rumah dari warga desa Margo Mulyo, gedung sekolah dan jalan raya serta trotoar yang ada di kota Ngawi. Kerusakan-kerusakan pada bangunan rumah dan gedung sekolah pada umumnya disebabkan karena tanah dibawah lantai mengalami pembengkakkan yang menyebabkan lantai terangkat, dan mengakibatkan keretakan pada lantai cenderung sejajar dengan garis batas antara lantai dinding (Gambar 7).

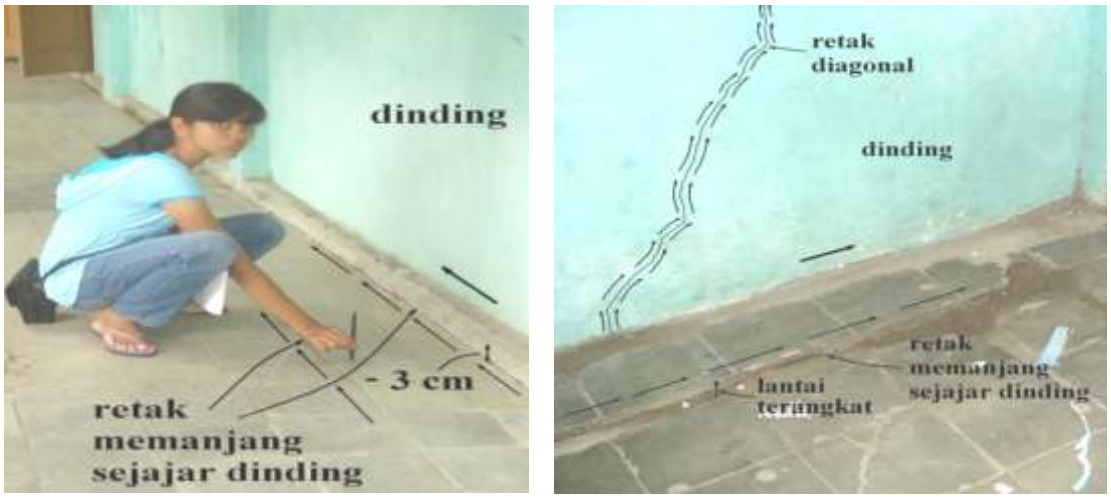
(a) (b)

Gambar 7 Retak sejajar dinding (a) dan retak diagonal pada lantai rumah penduduk (b) yang diamati pada tanggal 27 Februari 2010

Keretakan dengan pola yang sama bisa juga disebabkan karena bagian tepi pelat lantai naik lebih tinggi dibandingkan bagian tengah lantai bangunan, akibat dari pengembangan tanah yang lebih tinggi di bagian tepi dibandingkan dengan di bagian dalam bangunan. Perbaikan lantai tidak menghasilkan solusi permanen sebab lantai kembali mengalami keretakan di arah sejajar dinding dan diagonal, yang disebabkan oleh siklus pengembangan-penyusutan tanah yang seiring dengan perubahan musim hujan dan kemarau setiap tahun.

Kerusakan yang sifatnya berkesinambungan yang terjadi akibat siklus penurunan dan pengembangan tanah menyebabkan pemilik rumah pada umumnya harus memperbaiki lantai rumah setiap lima tahun. Dalam jangka waktu tiga tahun lantai dasar pada bangunan SMA PGRI yang berlantai dua di Jl. Raya Ngawi-Madium Km. 2,5 mengalami penurunan sampai 3 cm yang menyebabkan lantai selasar depan bangunan bergelombang dan mengalami keretakan (Gambar 8a). Sebagian lantai ruang belajar pada bangunan ini

terangkat. Pada ruang kelas tersebut diamati pula retak diagonal disepanjang dinding (Gambar 8b).



(a) (b)

Gambar 8 Lantai selasar turun, retak sejajar dinding (a), retak diagonal dinding kelas (b) SMA PGRI (pengamatan tanggal 27 Februari 2010)

Penurunan tanah juga dapat diamati pada salah satu sumur warga, yakni lantai disekitar sumur turun kurang lebih 10 cm relatif terhadap dinding sumur, yang dapat dianggap sebagai posisi semula elevasi lantai. Penurunan lantai relatif terhadap dinding sumur disebabkan karena dinding sumur yang terbuat dari pipa beton yang saling berhubungan sampai dasar sumur praktis tidak mengalami penurunan dibandingkan dengan lantai keliling yang langsung bertumpu pada permukaan tanah dan mengalami penurunan seiring dengan penurunan tanah. (Gambar 9).

Gambar 9 Penurunan lantai sumur (pengamatan tanggal 27 Februari 2010)

Pola Kerusakan Dinding

Salah satu pola kerusakan pada dinding bangunan rumah akibat aktifitas kembang susut tanah ekspansif di Ngawi dapat dilihat pada Gambar 10a. Gambar ini diambil dari rumah warga yang terletak di Jl. Raya Ngawi-Caruban Km.5. Dari gambar tersebut dapat dilihat adanya keretakan di arah vertikal pada pertemuan dinding dan kolom sepanjang ketinggian dinding. Bagian bawah dinding mengalami keretakan sempit (titik a). Keretakan melebar pada bagian atas dinding (titik b). Pola kerusakan dinding lainnya yang diamati pada rumah ini adalah dinding yang miring keluar yang membuat sudut kurang lebih 80° dengan bidang horizontal (Gambar 10b)

(a) (b)

Gambar 10 Retak vertikal antara dinding dan kolom (a) dan dinding yang miring (b)

Di Gedung SMA PGRI Ngawi diamati keretakan diarah vertikal yang terjadi pada pertemuan dua dinding (Gambar 11). Retak vertikal tersebut bersambung dengan retak diagonal yang mengarah ke sudut bawah kosen jendela. Retak tersebut sempit di bagian bawah dan menjadi lebih lebar di bagian atas dan di bagian keretakan yang terjadi pada sudut bawah losen jendela.

Gambar 11 Retak diagonal dan vertikal pada pertemuan dua dinding yang merambat ke sudut bawah kosen jendela (pengamatan tanggal 27 Februari 2010)

Gambar 12a menunjukkan keretakan yang terjadi pada dinding bangunan penduduk di Kelurahan Margo Mulyo, Ngawi. Pada gambar tersebut dapat diamati terjadinya keretakan diagonal pada salah satu dinding bangunan tersebut yang membentuk sudut kurang lebih 45° terhadap sumbu horizontal. Keretakan tersebut lebih lebar pada bagian atas kosen pintu sebelah kanan dan menyempit pada saat retakan merambat ke arah pertemuan antara *ring balk* dengan kolom. Keretakan diagonal lainnya dapat dilihat terjadi pada kosen jendela. Keretakan terjadi di sudut kiri atas bukaan jendela dam sudut kanan bawah bukaan jendela (Gambar 12b).

Gambar 12 Retak diagonal di atas pintu (a) dan jendela (b) (pengamatan tanggal 27 Februari 2010)

Pola Kerusakan Pada Jalan dan Trotoar

Salah satu jalan yang mengalami kerusakan akibat pergerakan tanah ekspansif berada di Desa Margo Mulyo seperti yang terlihat pada Gambar 13a. Pada jalan tersebut posisi bagian tengah jalan terangkat sehingga kedudukannya lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tepi jalan yang justru mengalami penurunan. Perbedaan ketinggian tersebut mengakibatkan keretakan memanjang pada badan jalan yang orientasinya kurang lebih sejajar dengan arah jalan. Kerusakan yang mirip juga diamati pada trotoar di sepanjang Jl. Sukowati di kota Ngawi. Dari Gambar 13b dapat diamati bahwa lantai trotoar bergelombang dan bagian tepi kiri trotoar lebih tinggi elevasinya dibandingkan dengan bagian tengah trotoar. Akibatnya lantai trotoar mengalami keretakan di arah memanjang, yaitu sejajar dengan arah jalan.

(a) (b)

Gambar 13 Retak memanjang sejajar badan jalan (a) dan sejajar trotoir (b) (pengamatan pada 27 Februari 2010)

Keretakan di arah memanjang dan lantai yang bergelombang juga dapat diamati pada trotoar yang ada disekitar Gedung Pemerintah Kabupaten Ngawi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 14. Lantai pada sisi trotoar yang dekat dengan jalan mempunyai elevasi yang kurang lebih 5 cm lebih rendah dibandingkan dengan lantai pada sisi trotoar yang bersebelahan dengan selokan.

Gambar 14 Retak memanjang dan penurunan pada lantai trotoar
(pengamatan tanggal 2 Februari 2010)

Evaluasi Pola Kerusakan pada Bangunan dan Jalan

Pola kerusakan yang terjadi pada bangunan dan fasilatas umum, seperti jalan dan trotoar, yang dibangun di atas lapisan tanah ekspansif di Ngawi akan dievaluasi terhadap pola-pola kerusakan yang telah diketahui biasa terjadi pada struktur sejenis yang didirikan di atas tanah ekspansif. Penjelasan mengenai berbagai pola kerusakan dan mekanisme yang menyebabkan pola-pola kerusakan tersebut telah dijelaskan sebelumnya pada bagian awal makalah ini. Penjelasan tersebut menjadi acuan untuk menjelaskan mekanisme yang dapat terjadi yang menyebabkan pola kerusakan yang diamati pada bangunan-bangunan di Ngawi.

Kerusakan Lantai

Seperti telah diungkapkan sebelumnya, kerusakan lantai yang diamati di Ngawi kebanyakan berupa turun atau naiknya bagian lantai relatif terhadap bagian lantai lainnya dan retak-retak pada lantai yang orientasinya sejajar dengan dinding serta retak di arah diagonal. Kondisi lantai pada rumah milik warga di desa Margo Mulyo yang diperlihatkan pada Gambar 7a (lantai selasar) dan Gambar 7b (lantai dalam rumah) serta kondisi lantai

Gedung SMA PGRI di Gambar 8a (selasar) dan 8b (ruangan kelas) menunjukkan tipe-tipe kerusakan tersebut.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu penyebab terjadinya perbedaan ketinggian lantai di bagian tengah ruangan (atau di selasar) relatif terhadap bagian lantai di tepi dinding adalah adanya perbedaan ketebalan tanah ekspansif di bawah lantai di bagian tengah ruangan dan di daerah dinding, karena dinding didirikan di atas fondasi pada kedalaman tertentu, sehingga mengurangi ketebalan lapisan ekspansif yang mendukung dinding dan lantai di sekitar dinding. Pada saat tanah bersinggungan dengan air, lebih tebalnya lapisan ekspansif di bagian dalam ruangan menyebabkan lebih tingginya penggembungan lantai di zone tengah ruangan dibandingkan dengan pengembangan di daerah dinding. Sebaliknya, pada saat kadar air turun, tanah di bagian tengah ruangan (atau di selasar) mengalami penyusutan yang lebih besar dibandingkan dengan tanah di zone dinding, yang menyebabkan lantai ruangan menjadi cekung. Faktor lain yang menyebabkan perbedaaan tingginya pengangkatan lantai di bagian tengah dan tepi bangunan adalah adanya perbedaaan pada intensitas beban yang menekan tanah di kedua zone bangunan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Perbedaaan elevasi lantai di bagian dinding dan tengah ruangan lebih parah terjadi pada ruangan-ruangan yang langsung berbatasan dengan halaman, termasuk selasar, yang disebabkan oleh kondisi *edge lift* dan *doming* secara silih berganti sesuai dengan siklus musim hujan dan kemarau. Terjadinya *edge lift* memperparah kecekungan lantai dari bagian bangunan yang langsung berbatasan dengan halaman. Kondisi *edge lift* secara berangsur-angsur berubah menjadi kondisi *doming* sesuai dengan perubahan musim hujan ke musim kemarau yang membuat lantai menjadi cembung. Naik turunnya satu bagian lantai relatif terhadap bagian lantai yang lain yang terjadi secara berkesinambungan mengakibatkan keretakan pada lantai seperti yang diamati pada lantai bangunan-bangunan di Ngawi.

Keretakan lantai yang arahnya sejajar dengan dinding terjadi pada lantai selasar rumah penduduk di desa Margo Mulyo di Gambar 7a. Hal ini disebabkan karena lantai di tepi luar selasar mengalami kenaikan dan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan bagian lantai di sisi dinding sehingga lantai pecah dekat dinding dengan garis keretakan sejajar dinding. Keretakan pada lantai selasar di dekat dinding yang arahnya sejajar dinding juga diamati di SMA PGRI I seperti yang ditunujukkan di Gambar 8a.

Gambar 7b menunjukkan keretakan sejajar di lantai kamar tamu rumah penduduk di desa Margo Mulyo, sedangkan Gambar 8b menunjukkan keretakan sejajar dinding di salah satu ruangan kelas di SMA PGRI I.

Deformasi lantai dalam ruangan yang berubah dari cekung menjadi cembung secara berkala juga menyebabkan retak-retak yang tidak sejajar dengan garis dinding, yang dapat diamati juga di Gambar 7b dan 8b. Gambar-gambar tersebut menunjukkan retak-retak di arah diagonal yang berasal dari sudut ruangan maupun keretakan yang arahnya tegak lurus dengan garis diagonal.

Kerusakan Dinding

Gambar 6a menunjukkan keretakan pada dinding gedung SMA Negeri I yang diambil oleh Jumadi (1992) pada tahun 1991. Gambar tersebut menunjukkan bahwa keretakan berasal dari bagian bawah dinding dan kemudian berubah arah sampai hampir menjadi horizontal. Dapat diamati bahwa keretakan di bagian bawah dinding lebih lebar dibandingkan dengan keretakan di bagian atas dinding, pada saat arah keretakan berubah menjadi kurang lebih horizontal. Keretakan yang lebih lebar di bagian bawah memberi indikasi bahwa keretakan berawal dari bagian bawah dinding. Pola keretakan tersebut serupa dengan keretakan pada titik c dan titik e pada Gambar 4, yang disebabkan oleh kondisi dasar bangunan yang menjadi cekung melalui mekanisme yang telah diterangkan sebelumnya pada pembahasan kerusakan lantai. Dasar bangunan yang menjadi cekung menyebabkan lantai meregang, yang menyebabkan dinding di bagian bawah (yang dalam kasus bangunan ini tidak diperkuat dengan *sloof*) yang bersinggungan dengan lantai dipaksa meregang ke samping mengikuti peregangan lantai. Selain itu, kecekungan lantai menyebabkan ’tergantungnya’ dinding di bagian lantai yang mengalami depresi, sehingga dinding mengalami tegangan tarik di bagian tersebut. Kombinasi regangan ke samping dan tegangan tarik di bagian bawah dinding menyebabkan bagian dinding tersebut sobek. Retak akibat sobekan tersebut awalnya mengarah ke atas, namun kemudian berbelok ke samping, karena bagian dinding yang ’menggantung’ di bagian lantai yang mengalami depresi tersebut tidak dapat menahan tegangan tarik yang disebabkan oleh berat sendiri dinding.

Gambar 6b yang juga menunjukkan keretakan di salah satu dinding SMA Negeri I pada saat gambar diambil pada tahun 1992, menunjukkan pola keretakan yang sama seperti

pada Gambar 6a, yaitu keretakan vertikal yang lebar di bagian bawah yang kemudian membelok menjadi keretakan horizontal dengan pola keretakan yang semakin menyempit. Pola ini mirip dengan retak di titik d di Gambar 4 yang juga disebabkan oleh kecekungan dasar bangunan. Retak horizontal yang lebar di satu sisi menunjukkan penurunan lantai (dan karena itu penurunan dinding) di sisi tersebut.

Gambar 10a menunjukkan keretakan dinding di arah vertikal yang terjadi pada pertemuan antara dinding dan kolom. Gambar tersebut diambil dari salah satu bangunan warga di Jl. Ngawi – Caruban KM 5, Ngawi Jawa Timur pada masa pengamatan di bulan Februari 2010. Keretakan vertikal pada dinding tersebut nampak lebih lebar pada bagian atas dinding dan menyempit seiring dengan perambatan retakan ke bagian bawah, yang menunjukkan bahwa dinding tersebut sobek' dari arah atas ke bawah. Pola keretakan semacam ini disebabkan oleh turunnya tanah di bagian tepi bangunan relatif terhadap tanah di bagian tengah bangunan yang menyebabkan penggembungan dasar bangunan. Profil tanah yang cembung juga menyebabkan dinding luar bangunan menjadi condong, bagian atas dinding terdorong ke arah luar seperti dapat di lihat di Gambar 10b.

Gambar 11 menunjukkan keretakan yang terjadi pada salah satu dinding bangunan SMA PGRI di Kota Ngawi yang diamati pada bulan Februari 2010. Pada bangunan ini keretakan vertikal terjadi di pertemuan antara dua dinding yang kemudian berbelok menuju sudut bawah dari bukaan jendela. Keretakan ini mungkin adalah akibat dari kecekungan lantai. Dinding di bagian tengah bangunan yang menggantung akibat turunnya lantai di bagian tersebut menimbulkan gaya tarik yang menyobek dinding dengan pola tersebut. Adanya lubang jendela mengakibatkan dinding di sekitar lubang tersebut berada dalam posisi paling lemah dalam menghadapi gaya (karena berkurangnya luas penampang dinding yang harus menahan tegangan), yang menyebabkan keretakan mengarah ke bukaan yang terdapat di dinding.

Gambar 12a menunjukkan keretakan pada dinding bangunan di salah satu rumah warga dikota Ngawi. Dari gambar dapat dilihat bahwa keretakan berasal dari sudut atas bukaan pintu dan merambat ke sudut atas ruangan, yaitu pertemuan antara dua dinding dan *ring balk* yang terdapat di bagian atas tembok. Bagian keretakan yang paling lebar terdapat pada bukaan pintu. Retak menyempit seiring dengan menjalarnya retak ke sudut tersebut. Penyebab keretakan pola tersebut adalah kecekungan dasar rumah yang menyebabkan dinding di bagian tengah rumah relatif lebih rendah dibandingkan dinding di bagian tepi

rumah. Dinding yang ’menggantung’ di bagian tengah yang cekung tidak dapat menahan tegangan tarik akibat berat sendiri dinding, yang menyebabkan sobeknya dinding di bagian yang paling lemah, dalam hal ini di bukaan pintu yang berada di tengah ruangan.

Kerusakan pada Jalan dan Trotoar

Kerusakan pada jalan dan trotoar yang diamati di jalan Desa Margo Mulyo menunjukkan naiknya bagian tengah jalan dibandingkan dengan bagian tepi jalan. Perbedaan tinggi antara bagian tengah dan tepi jalan yang cukup besar menyebabkan keretakan diarah yang sejajar dengan sumbu jalan (Gambar 13a). Pola keretakan ini disebabkan perbedaan intensitas penyerapan air di bagian tepi dan tengah jalan yang mirip dengan penyebab terjadinya *doming* pada tanah dibawah bangunan.

Kerusakan akibat pengembangan tanah yang tidak merata juga diamati pada trotoar di sepanjang Jl. Sukowati. Dari Gambar 13b dapat dilihat bahwa lantai trotoar bergelombang. Dapat dilihat juga bahwa bagian tepi kiri trotoar lebih tinggi dari bagian tengah trotoar dan lantai trotoar mengalami retakan memanjang, kemungkinan kerusakan tersebut disebabkan karena dibagian tepi kiri trotoar terdapat saluran air. Apabila pada musim kering saluran air tersebut retak, air saluran akan merembes keluar dan tanah yang ada didekatnya akan menyerap air lebih banyak dari pada tepi kanan yang menyebabkan bagian tepi kiri lantai trotoar terangkat akibat dari pengembangan tanah dibagian tersebut.
Keretakan diarah memanjang dan lantai yang bergelombang juga dapat dilihat pada trotoar yang ada disekitar bangunan pemerintah Kabupaten Ngawi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 14. Pada gambar dapat dilihat bahwa setengah dari lantai trotoar mengalami penurunan kira-kira 5 cm dibandingkan dengan bagian trotoar lainnya yang disebabkan karena tanah dibagian tersebut mengalami penyusutan yang lebih besar. Penyusutan pada tanah tersebut bisa disebabkan oleh keberadaan pohon yang ada disekitar trotoar yang menyerap air pada musim kemarau sehingga tanah menjadi lebih cepat mengering dan mengalami penyusutan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik UKRIM yang mendukung penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pimpinan SMA

PGRI I, Ngawi, yang telah mengizinkan dilakukannya pengamatan terhadap kerusakan yang terjadi pada bangunan sekolah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Day, R.W., 1999, *Geotechnical and foundation engineering design and construction*, McGraw-Hill Companies, New York.

Herina, 2005, *Kajian Pemanfaatan Abu Sekam sebagai Bahan Stabilitas Tanah Fondasi Ekspansif untuk Bangunan Sederhana*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.

Jumadi, 1992, *Tinjauan mengenai aspek geoteknik tanah ekspansif,* Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta.

Lucian, C., 2006, *Geotechnical aspects of buildings on expansive soils in kibaha, tanzania: Preliminary study,* Licentiate Thesis in Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden

Ransom, W. H., 1981, *Building failures*; *Diagnosis and avoidance*, E. and FN Spon LTD, New York

Seed, H.B.,Mitchel, J.K. and Chan, C.K., 1962, *Studies of swell and swell pressure characteristics of compacted clays,* Proc. High. Res. Board, Bull. 313: 12-39.

Sudjianto, A.T., 2009, *Civil Engineering Dimension* Vol 11, No 2, September, pp. 100-105

Suherman, 2003, *Laporan Akhir Pengembangan Panduan Konstruksi Jalan di Atas Tanah Ekspansif*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Tranportasi, Bandung

Van der Merwe, D.H., 1975, *The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soil,* Civil Engineers in South Africa 6 (6), pp.103-107.

Wibowo, H., 2010, *Karakteristik tanah ekspansif di beberapa lokasi di daerah Ngawi, Jawa Timur,* Skripsi, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta.