

ANALISA PENURUNAN AKIBAT BEBAN TIMBUNAN PADA TANAH GAMBUT DENGAN PERKUATAN

ANALYSIS OF SETTLEMENT OF EMPLOYMENT LOAD ON PEAT SOIL WITH REINFORCEMENT

Henry Fortumey Zebua

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan e-mail: henryfortumeyzebua@gmail.com

Abstrak

Semakin tingginya penggunaan lahan tanah sebagai tempat pemukiman atau konstruksi bangunan sipil lainnya mengakibatkan pemanfaatan lahan dengan tanah lunak seperti tanah gambut. Tanah gambut memiliki sifat-sifat yang kurang baik untuk konstruksi bangunan. Tanah gambut mempunyai sifat daya dukung tanah yang rendah, kadar air yang tinggi, dan kompresibilitas yang besar membuat tanah ini mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Proses penurunan tanah memerlukan waktu yang lama agar penurunan berhenti atau stabil dan tidak dapat diketahui kapan waktunya jika hanya dari pengamatan. Oleh karena itu perlu analisis untuk memperkirakan penurunan akibat beban timbunan pada tanah gambut. Metode perhitungan untuk memprediksi penurunan menggunakan metode hiperbolik, metode asaoka, dan metode hiperbolik modifikasi. Data penurunan yang digunakan adalah data sekunder dari penelitian sebelumnya oleh wisnu (2019). Dimana sampel penurunan antara lain perkuatan grid, perkuatan grid dengan tiang bambu 10 cm, perkuatan grid dengan tiang bambu 15 cm, perkuatan grid dengan tiang bambu 25 cm, dan perkuatan grid dengan tiang bambu 30 cm. Hasil prediksi penurunan menggunakan metode hiperbolik, metode asaoka, dan metode hiperbolik modifikasi mendekati sama dengan hasil pengamatan. Hasil prediksi penurunan dengan metode hiperbolik dan metode hiperbolik modifikasi mengalami penurunan yang lebih kecil dibandingkan metode asaoka. Metode yang efektif digunakan untuk memprediksi penurunan akhir pada penelitian ini adalah metode hiperbolik modifikasi.

Kata kunci: gambut, penurunan, metode hiperbolik, metode asaoka, hiperbolik modifikasi

Abstract

The increasing use of land for settlements or other civil building constructions has resulted in the use of land with soft soil such as peat soil. Peat soil has properties that are not good for building construction. Peat soil has the characteristics of low soil bearing capacity, high water content, and great compressibility, which causes this soil to experience a large decline in a very long time. The process of land subsidence takes a long time for the settlement to stop or stabilize and it cannot be known when the time will be if only from observation. Therefore, analysis is needed to estimate the settlement due to embankment load on peat soil. Calculation methods to predict the decrease using the hyperbolic method, the asaoka method, and the modified hyperbolic method. The decline data used is secondary data from a previous study by Wisnu (2019). Where the settlement samples include grid reinforcement, grid reinforcement with 10 cm bamboo poles, grid reinforcement with 15 cm bamboo poles, grid reinforcement with 25 cm bamboo poles, and grid reinforcement with 30 cm bamboo poles. The results of the reduction prediction using the hyperbolic method, the asaoka method, and the modified hyperbolic method are close to the results of the observations. The prediction results of the decrease using the hyperbolic method and the modified hyperbolic method experienced a smaller decrease than the asaoka method. The effective method used to predict the final decline in this study is the modified hyperbolic method.

Keywords: peat, subsidence, hyperbolic method, asaoka method, modified hyperbolic

PENDAHULUAN

Semakin tingginya penggunaan lahan tanah sebagai tempat pemukiman atau konstruksi bangunan sipil lainnya mengakibatkan pemanfaatan lahan dengan tanah lunak seperti tanah gambut. Tanah gambut di Indonesia cukup luas yaitu sekitar 14,9 juta hektar (Ritung *et al.*, 2011) yang mencakup tanah gambut Sumatera (6,4 juta ha), tanah gambut Kalimantan (4,8 juta ha), dan tanah gambut Papua (3,7 juta ha).

Tanah gambut atau *peat soil* adalah jenis tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan yang setengah membusuk atau mengalami dekomposisi yang tidak sempurna. Tanah gambut mempunyai sifat daya dukung tanah yang rendah, kadar air yang tinggi, dan kompresibilitas yang besar membuat tanah ini mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal ini menyebabkan tanah gambut kurang baik untuk konstruksi bangunan sipil.

Beban diatas tanah gambut menyebabkan penurunan berlebih pada tanah gambut. Penurunan dapat mengakibatkan kegagalan konstruksi karena tanah asli belum pernah memikul beban yang lebih besar dibandingkan beban yang sedang bekerja, sehingga tanah tidak mampu memikul beban konstruksi yang telah dibangun. Karena itu perlu penguatan tanah untuk memperbaiki kualitas serta meningkatkan daya dukung dari tanah sehingga dapat mencegah terjadinya perbedaan penurunan yang terlampau besar dan pembebanan awal (*preloading*) yang dimaksudkan untuk mempercepat proses pemampatan tanah.

Proses penurunan tanah memerlukan waktu yang lama agar penurunan berhenti atau stabil dan tidak dapat diketahui kapan waktunya jika hanya dari pengamatan. Setelah penurunan berhenti maka tanah baru dapat ditimbun lagi (penimbunan bertahap). Oleh karena itu perlu analisis untuk memperkirakan penurunan akibat beban timbunan pada tanah gambut. Adapun metode yang digunakan

untuk analisisnya adalah Metode Asaoka, Metode Hiperbolik dan Metode Hiperbolik Modifikasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari seberapa besar penurunan tanah yang terjadi akibat beban timbunan pada tanah gambut menggunakan Metode Asaoka, Hiperbolik, dan Hiperbolik Modifikasi.

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dan bahan pertimbangan dalam menentukan tahapan beban pada penerapan timbunan di atas tanah gambut sehingga mengurangi kerusakan struktur akibat penurunan berlebih tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Gambut

Gambut (*peat*) berdasarkan proses terjadinya adalah campuran dari fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah membusuk. Pengamatan visual termasuk uji warna dan bau dapat membantu dalam mengenali tanah gambut di lapangan (Kalantari, 2013 dalam Bu'ulolo, 2017). Masri dan Aljouni (2007) dalam Bu'ulolo (2017), deposit gambut merupakan sisa-sisa tumbuhan yang telah membusuk dan terfragmentasi, gambut berserat memiliki struktur yang berongga dan sebagian besar terisi oleh air dan sangat *kompresibel*.

Penurunan Tanah

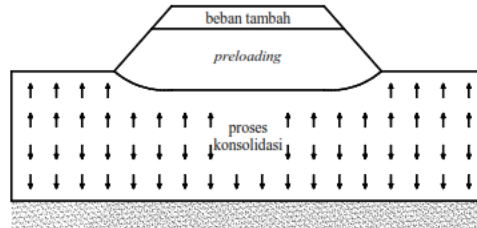
Penurunan (*settlement*) pada tanah dasar akan terjadi apabila tanah tersebut menerima beban tambahan beban di atasnya. Penurunan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, dan keluarnya air atau udara dari dalam pori.

Preloading

Preloading adalah beban sementara (*surcharge*) yang diletakkan pada suatu lahan konstruksi, yang berfungsi untuk memperbaiki kondisi daya dukung tanah dasar di mana

konstruksi akan didirikan. Waruwu *et al* (2016) menyatakan penerapan timbunan pada tanah gambut dapat memperbaiki sifat kemampatan pada tanah gambut. *Preloading*

yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tanah timbunan (*embankment*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Loading

Sumber: Nawir *et al*, 2012

Pada tanah lempung jenuh air ketika beban timbunan (*surcharge*) diletakkan diatas tanah lunak, pada awalnya beban akan dipikul oleh air pori, kemudian seiring berjalannya waktu maka tegangan air pori berlebih akan terdisipasi keluar (mengalami konsolidasi).

Waruwu (2013) menyatakan nilai kuat tekan tanah gambut meningkat akibat *preloading*. Ini menunjukkan bahwa beban awal (*preloading*) berpotensi meningkatkan daya dukung tanah gambut dengan waktu yang relatif lebih lama.

Grid Bambu

Dengan pemanfaatan grid bambu sebagai perkuatan tanah gambut, diharapkan penempatan perkuatan *grid* bambu tersebut adalah bidang runtuh tanah akan terpotong oleh anyaman bambu sehingga daya dukung tanah meningkat. Nugroho (2011) dalam Bu'ulolo (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan kombinasi geotekstil dan *grid* bambu sebagai alternatif perkuatan tanah gambut. Geotekstil berfungsi sebagai pemisah (separator) untuk mencegah tercampurnya antara tanah urugan dan tanah gambut, sedangkan *grid* bambu berfungsi sebagai elemen perkuatan. Kombinasi *grid* bambu dan geotekstil dapat meningkatkan daya dukung pondasi diatas tanah gambut. Secara umum, penambahan jumlah lapisan perkuatan berupa geotekstil dan *grid* bambu memberikan

kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan daya dukung pondasi.

Metode Hiperbolik

Metode hiperbolik adalah salah satu metode observasi lain yang memprediksi penurunan akhir dari tanah. Metode ini diusulkan oleh Tan *et al* (1991), mengusulkan hubungan hiperbolik antara penurunan hasil pengamatan dengan waktu. Kurva penurunan (S) dan waktu (t) dari analisis metode hiperbolik sesuai dengan hasil pengukuran penurunan di lapangan. Metode ini menghitung parameter α dan β sebagai persimpangan dan kemiringan garis linier pada hubungan antara t/s sebagai ordinat dan t sebagai absis (Huan *et al*, 2004 dalam Waruru *et al*, 2017). Hubungan hiperbolik antara penurunan lapangan (s) dan waktu konsolidasi (t) diperoleh dari Persamaan (1.1) dan penurunan akhir (sf) dianalisis menggunakan Persamaan (1.2).

$$s = \frac{t}{\alpha + \beta t} \quad (1.1)$$

$$s_f = \frac{1}{\beta} \quad (1.2)$$

Metode Asaoka (1978)

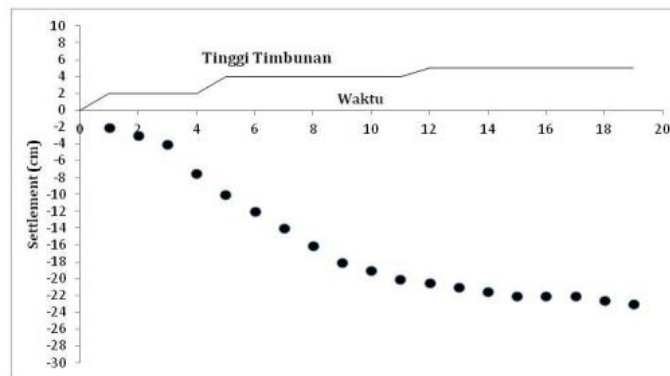
Metode observasi asaoka (metode asaoka) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan akhir (*final settlement*). Dengan menggunakan metode asaoka data penurunan

yang didapatkan kemudian dianalisis dengan *curve fitting*. Metode ini diadopsi untuk menganalisis penurunan tanah akhir (*final settlement*) secara grafis. Menurut Waruwu *et al* (2017) metode Asaoka terlihat lebih cocok digunakan untuk data penurunan dengan waktu-waktu yang beraturan. Pada penelitian Waruwu *et al* (2017) menyatakan bahwa hasil perkiraan penurunan dengan menggunakan metode hiperbolik lebih tinggi dibandingkan dengan metode asaoka, ini mungkin dikarenakan data yang digunakan pada metode asaoka hanyalah data penurunan di akhir tahap timbunan sedangkan data di fase awal tidak digunakan. Pengukuran data penurunan di lapangan dilakukan dengan menggunakan instrument *settlement plate*. Untuk memperoleh prediksi penurunan akhir tanah, maka data-data penurunan ini harus dipilih, sehingga diperoleh nilai penurunan

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ dengan interval waktu Δt yang konstan seperti dilihat pada Gambar 2. Kemudian nilai ρ_n (sumbu-y) dan nilai ρ_{n-1} (sumbu-x) diplot sehingga akan diperoleh titik-titik yang membentuk garis lurus, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. β_0 adalah waktu titik plot pertama dari regresi linear ρ_n dan ρ_{n-1} . Penurunan akhir (s_f) adalah titik pertemuan antara garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ (bersudut 45°) dengan trendline dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya. β_1 merupakan kemiringan dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya. Ketika kondisi stabil, penurunan akhir (s_f) dapat diperoleh dari Persamaan (1.3). Penurunan $s(t)$ terhadap waktu (t) dapat dihitung pada Persamaan (1.4).

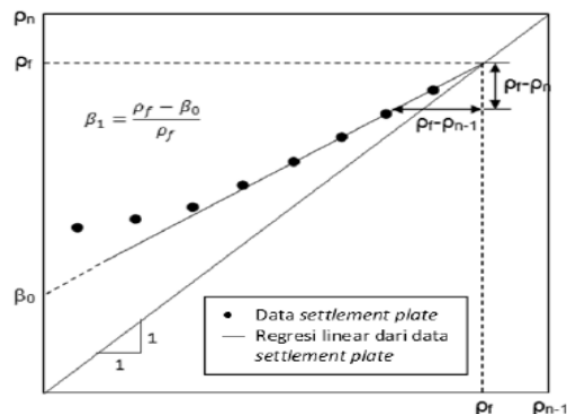
$$s_f = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} \quad (1.3)$$

$$s_t = s_f \left(1 - \exp \left(\left(\ln \frac{\beta_1}{\Delta t} \right) t \right) \right) \quad (1.4)$$



Gambar 2. Prosedur Analisis Data Monitoring Penurunan dengan Interval Waktu yang Konstan

Sumber: Maspanji, 2016



Gambar 3. Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (1978)

Sumber: Maspanji, 2016

Metode Hiperbolik Modifikasi

Perkiraan penurunan berdasarkan beban terakhir terlihat tidak memberikan peningkatan penurunan yang signifikan. Dalam hal ini perlu pertimbangan kembali metode untuk memperkirakan penurunan jika penambahan beban selanjutnya akan dilakukan. Jika penambahan beban timbunan dilakukan seperti pada penambahan beban sebelumnya, perkiraan penurunan dapat dilakukan berdasarkan korelasi antara beban timbunan dengan koefisien α dan β dari masing-masing tahapan beban sebelumnya. Persamaan polynomial dapat dihitung untuk menentukan nilai koefisien α dan β pada pembebanan timbunan berikutnya dengan memasukkan nilai beban timbunan ke dalam persamaan polynomial. Hasil estimasi koefisien α dan β digunakan untuk memperkirakan penurunan pada beban timbunan dan waktu-waktu tertentu dengan menggunakan **Persamaan (1.1)** dan penurunan akhir (*final settlement*) (*sf*) didefinisikan dari **Persamaan (1.2)**. Menurut Waruwu *et al* (2017) metode hiperbolik dapat memperkirakan penurunan tanah dari data penurunan dengan waktu-waktu yang tidak seragam.

METODOLOGI PENELITIAN

Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari data penelitian sebelumnya di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Institut Teknologi Medan oleh Wisnu (2019). Data meliputi tinggi timbunan, tekanan dari timbunan (kPa), dan data penurunan. Jumlah data yang digunakan sebanyak 5 sampel. Data yang rusak pada penelitian ini tidak dipakai dan tidak dilakukan analisis. Data yang rusak dalam hal ini adalah data penurunan yang menyebabkan ketidaksesuaian peningkatan koefisien α dan β pada grafik polynomial.

Tahap Analisis

Pada penelitian ini, untuk pengolahan data penulis menggunakan bantuan Software Microsoft Excel 2007. Data yang digunakan pada metode hiperbolik penelitian ini adalah data tengah penurunan (dial ke 3) hari ke 1 sampai dengan hari ke 5 dikarenakan data tengah mempunyai tekanan yang lebih besar dari sisi lainnya (dial lainnya) yang dapat mewakili data penurunan. Pada metode asaoka digunakan data tengah penurunan (dial ke 3) pada menit ke 1440 (24 jam) hari ke 1 sampai dengan hari ke 5 karena metode asaoka merupakan metode dengan interval waktu yang konstan. Prediksi penurunan selanjutnya pada metode hiperbolik diteruskan menggunakan metode hiperbolik modifikasi

a) Metode Hiperbolik

- a. Dari data diperoleh hubungan penurunan (mm) dan waktu (hari) dengan tekanan (kPa) dan waktu (hari).
- b. Dilakukan pengolahan data, antara lain dari data waktu (t, menit) ke waktu (t, hari) yaitu dengan t (menit)/60/24, data pembacaan langsung dial penurunan (s) dibagi 100 supaya menjadi mm, dan data penurunan (mm) dikonversi ke cm.
- c. Pada hari ke 1, untuk memperoleh penurunan akhir (*sf*) diperlukan koefisien α dan β maka dibuatlah grafik linear hubungan antara t/s dan t (hari).
- d. Dari grafik linear tersebut diperoleh *equation* y , misal $y = \beta x + \alpha$.
- e. Diusahakan nilai R^2 minimal 90% agar prediksi penurunan lebih akurat.
- f. Persamaan garis linier dari grafik ini menghasilkan koefisien α sebagai perpotongan garis dengan sumbu vertikal dan koefisien β sebagai kemiringan garis linier.
- g. Hal yang sama dilakukan untuk lapis timbunan berikutnya dan skema uji

- lainnya dalam menganalisis perkiraan penurunan.
- h. Dari hasil α dan β tersebut maka didapat penurunan akhir (sf) dengan menggunakan Persamaan (1.2) dan penurunan lapangan (s) dari Persamaan (1.1).
 - i. Dari Persamaan (1.1) tersebut diperoleh grafik hubungan penurunan lapangan (s, mm) dan waktu (t) terhadap data observasi langsung.
 - j. Analisis data pada hari ke 2 sampai hari ke 5 sama dengan analisis data pada hari ke 1, tapi ada beberapa perbedaan dalam tahapannya. Diumpamakan waktu penurunan mulai dari nol, maka data s (mm) dikurangi dengan data s (mm) menit ke 1440 pada hari sebelumnya.
 - k. Untuk mendapatkan penurunan sebenarnya dari hari sebelumnya, maka data t (hari) kemudian ditambah dengan data hari sebelumnya. Misal pada hari ke 2, t (hari) di tambah 1; pada hari ke 3, t (hari) ditambah 2; dan seterusnya.
 - l. Begitu juga dengan penurunan (cm) yang didapat dari Persamaan (1.1) ditambah dengan data penurunan (cm) hiperbolik menit ke 1440 hari sebelumnya.
- b) Metode Asaoka**
- a. Pengolahan data dilakukan dari data penurunan hari ke 1 sampai hari ke 5.
 - b. Pada pengolahan data tersebut didapat grafik metode asaoka dengan *equation y*.
 - c. Dimana penurunan akhir (sf) adalah titik pertemuan antara garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ (bersudut 45°) dengan *trendline* dari garis ρ_n vs ρ_{n-1} sebenarnya.
 - d. Dari *equation y* tersebut didapatkan parameter β_0 dan β_1 . Contoh $y = \beta_1 x + \beta_0$.
- e. Dengan menggunakan Persamaan (1.3) didapatkan penurunan akhir (sf) dan penurunan 90% dapat diperkirakan dari 90% penurunan akhir (*final settlement*).
 - f. Penurunan lapangan (St) per harinya dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (1.4) dan didapat grafik penurunan (cm) tiap harinya.
 - g. Tahapan analisis data ini juga berlaku pada data sampel penurunan tanah dengan perkuatan grid, perkuatan grid + tiang bambu 10 cm, perkuatan grid + tiang bambu 15 cm, perkuatan grid + tiang bambu 25 cm, perkuatan grid + tiang bambu 30 cm.
- c) Metode Hiperbolik Modifikasi**
- a. Metode hiperbolik hanya mampu memprediksi penurunan akhir sesuai hari pengamatan dan tidak dapat memprediksi penurunan hari selanjutnya jika tidak dilakukan pengamatan.
 - b. Untuk memperkirakan penurunan selanjutnya tanpa pengamatan digunakan metode hiperbolik modifikasi. Metode hiperbolik modifikasi dapat memperkirakan penurunan selanjutnya pada metode hiperbolik atau dengan kata lain bahwa metode hiperbolik modifikasi adalah lanjutan prediksi penurunan pada metode hiperbolik.
 - c. Untuk mengetahui perkiraan penurunan hari ke 6 dan hari seterusnya diperlukan parameter α dan β . Maka dibuatlah grafik *polynomial* hubungan tekanan (kPa) dengan α dan hubungan tekanan (kPa) dengan β dari data parameter α dan β pada hari ke 1 sampai hari ke 5 dengan tekanan (kPa) per harinya.
 - d. Data parameter α dan β hari ke 1 sampai hari ke 5 yang rusak tidak digunakan pada grafik *polynomial* ini.

- e. Tekanan (kPa) pada hari ke 6 dan seterusnya didapat dengan menambahkan tekanan sebesar 1,51153 kPa terhadap tekanan hari sebelumnya.
- f. Dari grafik *polynomial* didapat *equation y* untuk mendapatkan parameter α dan β hari ke 6 dan hari-hari berikutnya.
- g. Parameter α dan β hari ke 6 dan hari seterusnya yang didapat dikatakan sesuai jika parameter α dan β semakin hari semakin naik dengan tekanan yang bertambah tiap harinya. Jika hasil *equation y* dengan *trendline polynomial order 2* tidak sesuai, maka *trendline polynomial order 2* di ubah menjadi *order 3* dan seterusnya sampai hasil yang didapat sesuai.
- h. Diusahakan nilai R^2 minimal 90% agar prediksi penurunan lebih akurat.
- i. Setelah mendapatkan hasil parameter-parameter α dan β pada hari ke 6 dan hari seterusnya, dibuatlah grafik *polynomial* dari keseluruhan parameter.
- j. Parameter-parameter α dan β yang diperoleh, maka dapat diketahui perkiraan penurunan (cm) pada hari ke 6 dan hari seterusnya dari Persamaan (1.1) dengan waktu dimulai dari nol serta ditambahkan dengan penurunan (cm) hari sebelumnya.
- i. Tahapan analisis data yang dijelaskan di atas berlaku untuk semua sampel baik dari sampel penurunan tanah dengan perkuatan grid, perkuatan grid + tiang bambu 10 cm, perkuatan grid + tiang bambu 15 cm, perkuatan grid + tiang bambu 25 cm, perkuatan grid + tiang bambu 30 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prediksi Penurunan Tanah

Menggunakan Metode Hiperbolik

a) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid

Hari ke 1 (Tekanan 1,511526 kPa).

Berdasarkan Gambar 4, maka diperoleh:

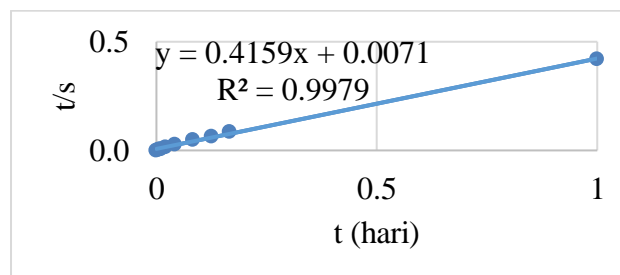
$$\alpha = 0,0071$$

$$\beta = 0,4159$$

$S_f = 2,404424$ dengan menggunakan rumus pada Persamaan (1.2).

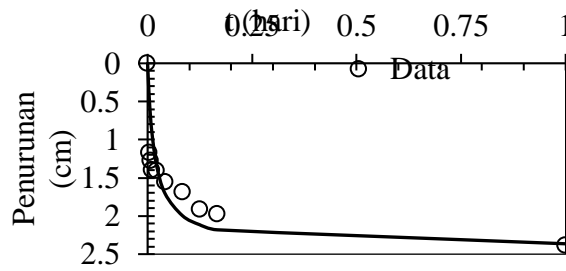
$$90\% S_f = 2,163982$$

Berdasarkan nilai α dan β , analisis penurunan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1.1).

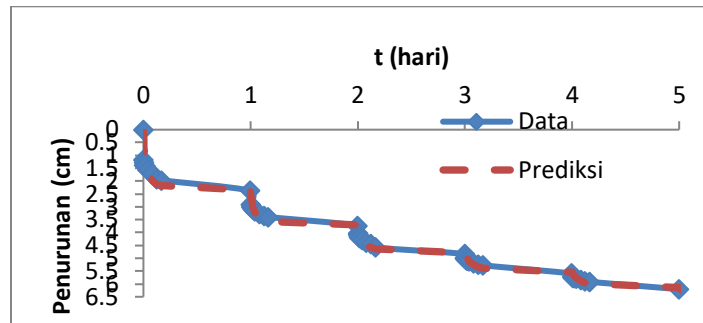


Gambar 4. Koefisien α dan β Metode Hiperbolik pada Hari 1 (Grid)

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 5. Hasil Perkiraan Penurunan Hari 1 (Grid)
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 6. Prediksi Penurunan Menggunakan Metode Hiperbolik (Perkuatan Grid)
Sumber: Hasil Analisis

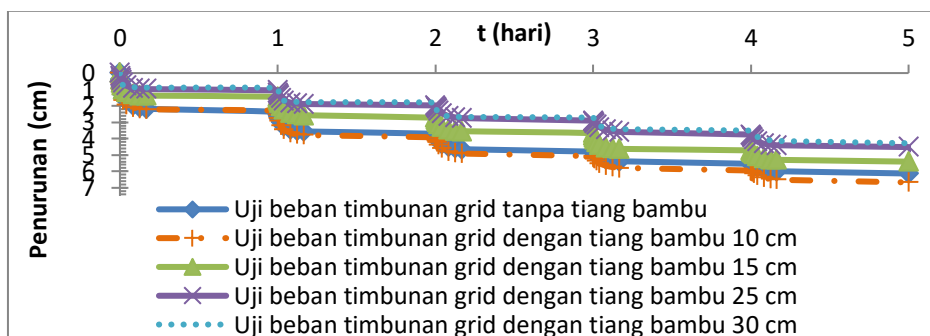
Hasil Perkiraan Penurunan akhir (sf) hari ke 1 sampai hari ke 5 dapat dilihat pada Tabel 1. Perkiraan penurunan dari hari ke 1 sampai hari ke 5 dapat dilihat pada Gambar 6. Perkiraan penurunan menggunakan metode hiperbolik hampir mendekati hasil pengamatan.

b) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid + Tiang Bambu (10, 15, 25, 30 cm)

Hasil Perkiraan Penurunan akhir (sf) dengan metode hiperbolik hari ke 1 sampai hari ke 5 tiap sampel nya dapat dilihat pada

Tabel 1. Perkiraan penurunan dari hari ke 1 sampai hari ke 5 dengan metode hiperbolik tiap sampel nya hampir mendekati hasil pengamatan.

Perkiraan penurunan dengan menggunakan metode hiperbolik untuk semua sampel perkuatan dapat di lihat pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa perkuatan grid dengan tiang bambu tinggi 30 cm dan 25 cm menunjukkan penurunan yang kecil dibandingkan dengan perkuatan yang lain. Ini menunjukkan bahwa perkuatan grid dengan tiang bambu yang semakin tinggi dapat lebih mereduksi penurunan tanah.



Gambar 7. Perkiraan Penurunan Tiap Sampel Perkuatan dengan Menggunakan Metode Hiperbolik
Sumber: Hasil Analisis

Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Metode Asaoka

a) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid

Berdasarkan Gambar 8, maka diperoleh:

$\rho_0 = 1,9412.$

$\rho_1 = 0,7618.$

$S_f = 8,149454$ dengan menggunakan rumus pada Persamaan (1.3).

$90\% S_f = 7,334509.$ Dengan menggunakan Persamaan (1.4) maka diperoleh perkiraan penurunan seperti pada Gambar 9. Berdasarkan pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa hasil perkiraan metode asaoka mendekati sama dengan data pengamatan dan penurunan mulai terlihat stabil pada hari ke 20.

b) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid + Tiang Bambu (10, 15, 25, 30 cm)

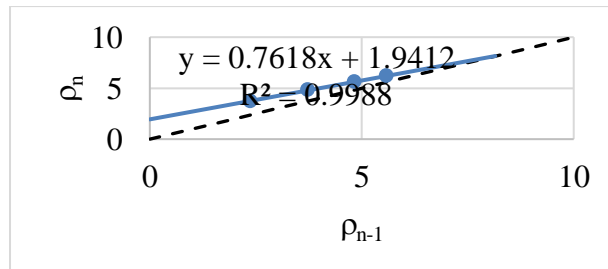
Hasil Perkiraan Penurunan akhir (sf) dengan metode hiperbolik tiap sampel nya dapat dilihat pada Tabel 1. Perkiraan

penurunan dengan metode hiperbolik tiap sampel nya hampir mendekati hasil pengamatan.

Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Metode Hiperbolik Modifikasi

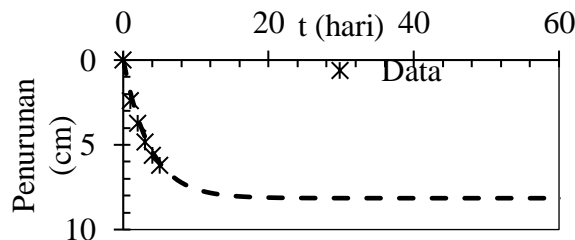
a) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid

Untuk memprediksi penurunan hari selanjutnya pada metode hiperbolik digunakan metode hiperbolik modifikasi dengan koefisien-koefisien α dan β . Dengan bertambahnya beban timbunan seperti penambahan beban sebelumnya, maka perkiraan penurunan dapat dilakukan berdasarkan hubungan tekanan dengan koefisien α dan β . Pada Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dicari persamaan *polynomial* untuk menentukan nilai koefisien α dan β pada tekanan berikutnya dengan memasukkan nilai tekanan dan koefisien α dan β sebelumnya (pada metode hiperbolik) dan hasilnya seperti pada Gambar 12 dan Gambar 13.



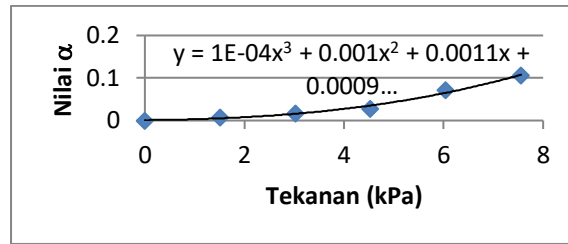
Gambar 8. Analisis Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka (Sampel Grid)

Sumber: Hasil Analisis



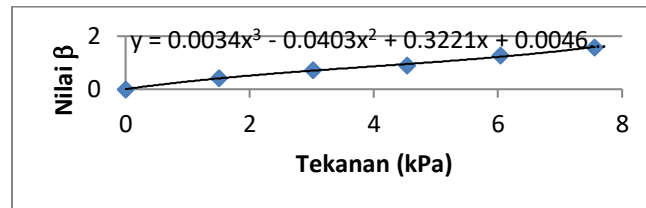
Gambar 9. Perbandingan Hasil Metode Asaoka dengan Data Observasi (Sampel Grid)

Sumber: Hasil Analisis



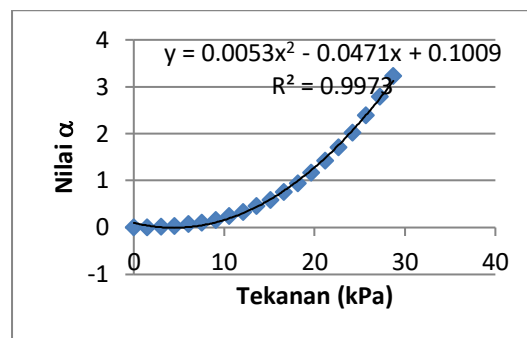
Gambar 10. Hubungan Koefisien α dan Tekanan (Grid)

Sumber: Hasil Analisis



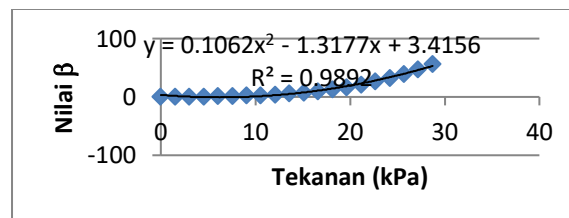
Gambar 11. Hubungan Koefisien β dan Tekanan (Grid)

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 12. Perkiraan Nilai α (Grid)

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 13. Perkiraan Nilai β (Grid)

Sumber: Hasil Analisis

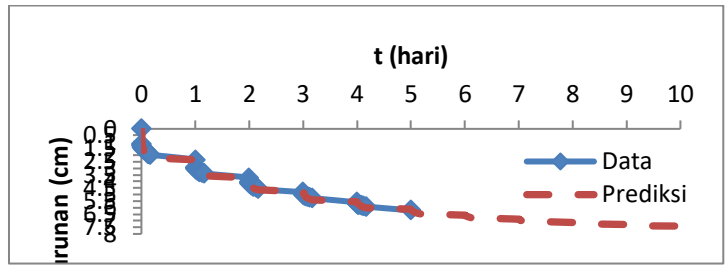
Hasil perkiraan koefisien α dan β dapat digunakan untuk memperkirakan penurunan pada beban timbunan dan waktu-waktu tertentu dengan menggunakan Persamaan (1.1).

Hasil perkiraan penurunan untuk waktu tertentu dengan pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 14. Pada Gambar 14 menunjukkan bahwa bentuk *trendline* dari grafik hasil analisis perkiraan penurunan

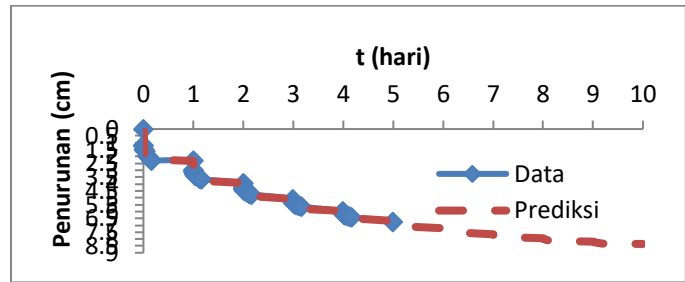
mendekati sama dengan bentuk *trendline* grafik dari hasil pengukuran.

b) Uji Beban Timbunan dengan Perkuatan Grid + Tiang Bambu (10, 15, 25, 30 cm)

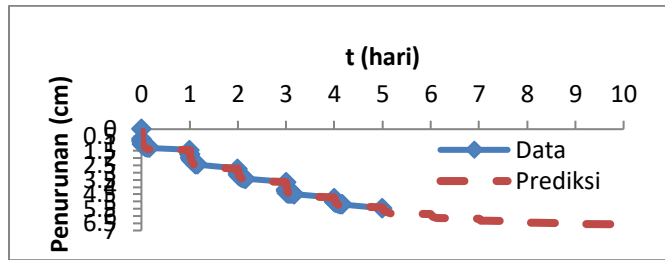
Perkiraan penurunan hari selanjutnya dengan metode hiperbolik tiap sampel nya hampir mendekati hasil pengamatan dan dapat dilihat pada Gambar 15 sampai dengan Gambar 18.



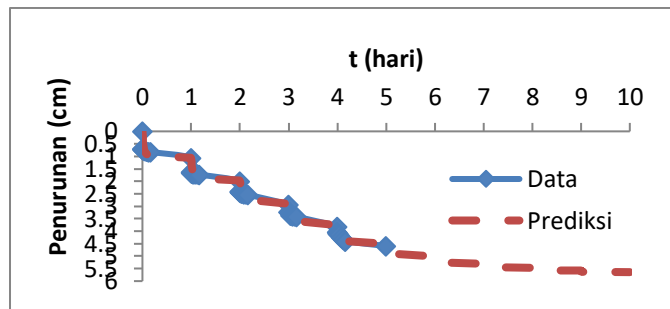
Gambar 14. Hasil Perkiraan Penurunan dengan Grid
Sumber: Hasil Analisis



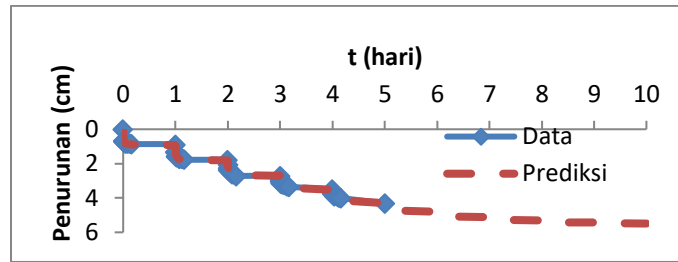
Gambar 15. Hasil Perkiraan Penurunan Dengan Grid + Tiang Bambu 10 Cm
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 16. Hasil Perkiraan Penurunan Dengan Grid + Tiang Bambu 15 Cm
Sumber: Hasil Analisis



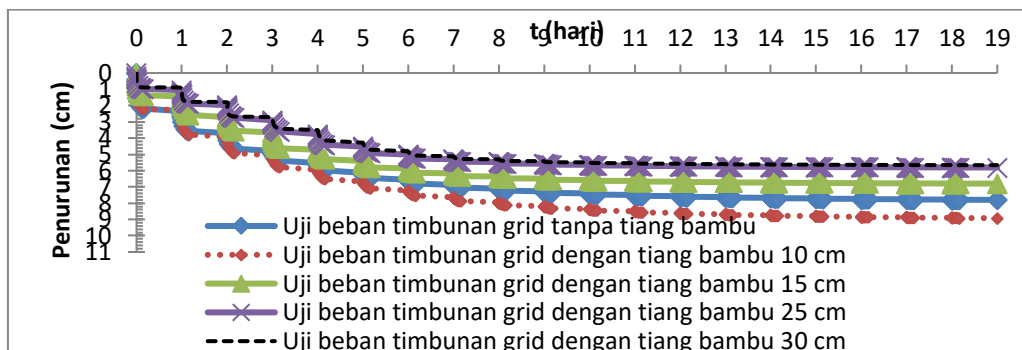
Gambar 17. Hasil Perkiraan Penurunan Dengan Grid + Tiang Bambu 25 Cm
Sumber: Hasil Analisis



Gambar 18. Hasil Perkiraan Penurunan dengan Perkuatan Grid + Tiang Bambu 30 Cm
 Sumber: Hasil Analisis

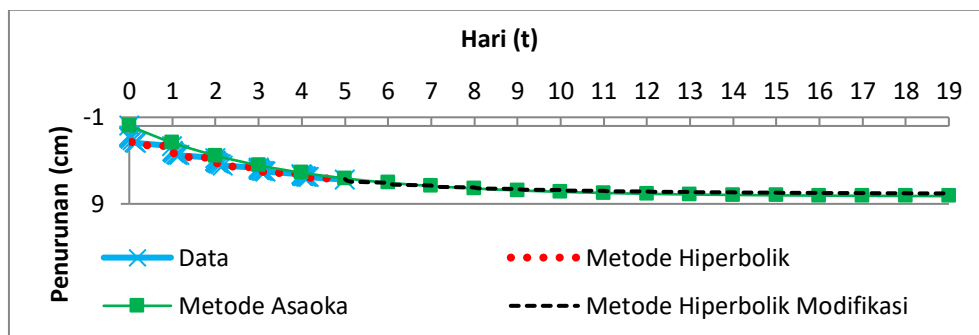
Hasil keseluruhan dari perkiraan penurunan berbagai jenis sampel dapat dilihat pada Gambar 19. Pada pola ini dapat memberikan gambaran berapa lama waktu yang diterapkan pada masing-masing sampel untuk mendapatkan perubahan penurunan yang relatif kecil. Perbedaan penurunan semakin jelas terlihat pada waktu lebih dari 8 hari dimana penurunan yang terjadi relatif kecil, karena diperkirakan lapisan tanah gambut sudah mengalami pemampatan. Perkuatan grid dengan tiang bambu tinggi 30 cm dan 25 cm menunjukkan penurunan yang

relatif kecil. Penambahan beban timbunan dengan tahapan setiap satu hari juga memperlihatkan perubahan penurunan yang cukup kecil, dengan demikian penambahan beban timbunan dapat dilakukan sebelum satu hari pada saat kenaikan penurunan menunjukkan nilai yang relatif kecil yang ditunjukkan dengan grafik hubungan waktu dengan penurunan dalam kondisi landai atau hampir datar. Pertimbangan lain untuk waktu penambahan beban adalah dengan menentukan waktu pada saat penurunan mencapai 90% penurunan akhir.



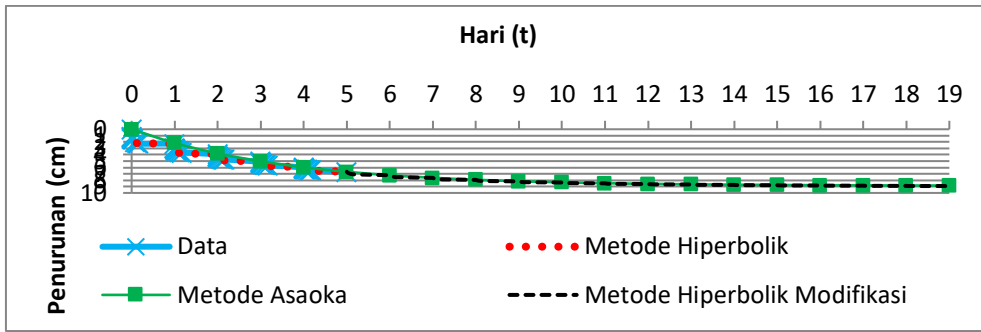
Gambar 19. Perkiraan Penurunan pada Tanah Gambut Berbagai Jenis Sampel Dengan Menggunakan Metode Hiperbolik Modifikasi

Sumber: Hasil Analisis

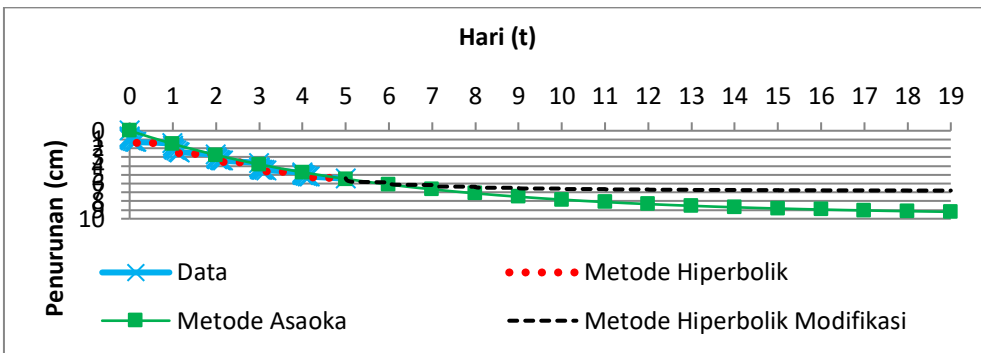


Gambar 20. Penurunan Semua Metode pada Perkuatan Grid

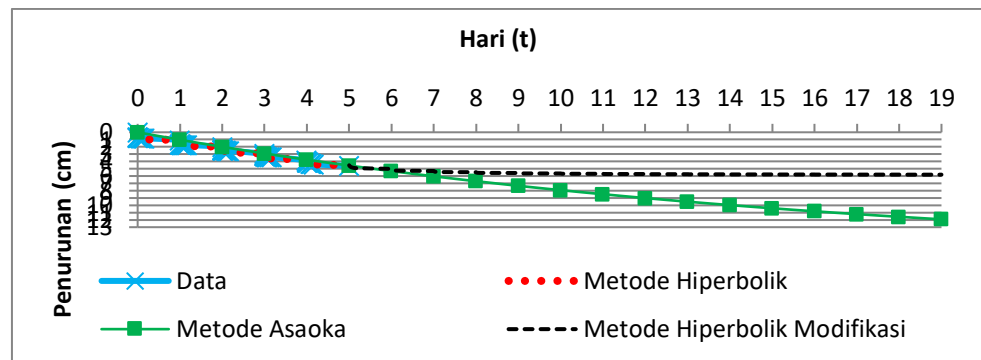
Sumber: Hasil Analisis



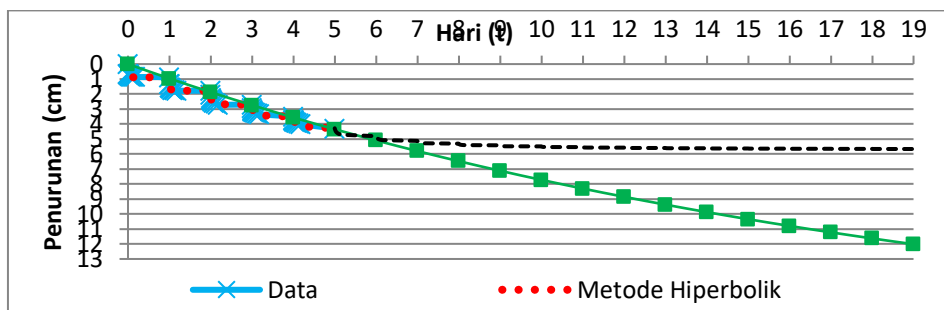
Gambar 21. Penurunan Semua Metode pada Perkuatan Grid + Tiang Bambu 10 Cm
 Sumber: Hasil Analisis



Gambar 22. Penurunan Semua Metode pada Perkuatan Grid + Tiang Bambu 15 Cm
 Sumber: Hasil Analisis



Gambar 23. Penurunan Semua Metode pada Perkuatan Grid + Tiang Bambu 25 Cm
 Sumber: Hasil Analisis



Gambar 24. Penurunan Semua Metode pada Perkuatan Grid + Tiang Bambu 30 Cm
 Sumber: Hasil Analisis

Perbandingan Penurunan antara Data Pengamatan di Lapangan, Metode Hiperbolik, Metode Asaoka, dan Metode Hiperbolik Modifikasi

Berdasarkan Gambar 20 sampai dengan Gambar 24 dapat dilihat bahwa prediksi penurunan yang mendekati hasil yang sama dengan hasil pengamatan langsung adalah metode hiperbolik modifikasi. Ini mungkin dikarenakan metode asaoka menggunakan data penurunan waktu harian dan seragam,

sehingga tidak memperlihatkan hasil yang rinci seperti pada data penurunan pengamatan langsung dan metode hiperbolik tidak dapat memprediksi penurunan hari selanjutnya tanpa pengamatan. Hasil prediksi penurunan yang didapatkan pada metode hiperbolik modifikasi mengalami penurunan yang lebih kecil dibandingkan metode asaoka dan hiperbolik. Metode prediksi penurunan yang paling efektif digunakan pada penelitian ini adalah metode hiperbolik modifikasi.

Tabel 1. Penurunan akhir (sf)

Penurunan akhir (sf)										
t (h ari)	Perkuatan grid tanpa tiang bambu		Perkuatan grid dengan tiang bambu 10 cm		Perkuatan grid dengan tiang bambu 15 cm		Perkuatan grid dengan tiang bambu 25 cm		Perkuatan grid dengan tiang bambu 30 cm	
	Metode Hiperbolik (cm)	Metode Asaoka (cm)	Metode Hiperbolik (cm)	Metode Asaoka (cm)	Metode Hiperbolik (cm)	Metode Asaoka (cm)	Metode Hiperbolik (cm)	Metode Asaoka (cm)	Metode Hiperbolik (cm)	Metode Asaoka (cm)
1	2,404		2,322		1,459		1,073		0,912	
	42414		88037		42790		30686		82519	
2	1,370		1,649		1,314		0,937		0,898	
	23842		07652		23314		82238		71484	
3	1,125	8,149	1,184	8,884	0,970	9,601	0,966	17,417	0,922	19,464
	99932	45424	55342	86842	21442	67310	27693	65705	50923	50304
4	0,785		0,919		1,072		0,890		0,809	
	11423		20213		96137		23413		65104	
5	0,633		0,768		0,714		0,793		0,809	
	39245		58043		54091		27304		58549	

Sumber: Hasil Analisis

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan dianalisa dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- a) Hasil perkiraan penurunan menggunakan metode hiperbolik, metode asaoka dan metode hiperbolik modifikasi mendekati sama dengan hasil pengamatan.
- b) Hasil perkiraan penurunan dengan metode hiperbolik dan metode hiperbolik modifikasi mengalami penurunan yang lebih kecil dibandingkan metode asaoka.

- c) Metode yang efektif digunakan untuk memprediksi penurunan akhir pada penelitian ini adalah metode hiperbolik modifikasi.

Saran

- a) Untuk mendapatkan hasil prediksi penurunan yang akurat diperlukan data pengamatan penurunan yang teliti.
- b) Dalam memprediksi parameter α dan β perlu diperhatikan dalam pemilihan nilai *order*, nilai *order* yang dipilih dilihat dari kecocokannya yaitu semakin

- bertambahnya nilai α maupun β dan grafik semakin melengkung ke atas.
- c) Dalam memprediksi parameter α dan β perlu diperhatikan nilai R^2 yang diusahakan mencapai minimal 90%, sehingga hasil prediksinya juga semakin akurat.
- d) Agar grafik perbandingan lebih jelas, maka tiap trendline dari tiap sampel diberi model dan warna yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., & Subiksa, I. (2008). Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan *World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Andriani, (2016). Potensi Penurunan Tanah pada Areal Permukiman di Lahan Gambut.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, (2014). Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan.
- Bu'ulolo, J. A. P. (2017). Potensi *Grid* Bambu sebagai Perkuatan Tanah Gambut akibat Beban Dinamis.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2002). Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak.
- Hanggara, W. (2019). Kajian Kombinasi *Grid* Bambu dan Tiang Bambu sebagai Perkuatan Tanah Gambut.
- Hardiyatmo, H. C., n.d. Mekanika Tanah II Edisi-3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harun, M. K. (2014). Agroforestri Berbasis Jelutung Rawa; Solusi Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan Pengelolaan Lahan Gambut. Bogor: Forda Press.
- Ma'ruf, M. A., & Permana, R. (2017). Pengaruh Masa Peram terhadap Karakteristik Tanah Gambut Kering yang dicampur Kapur dan *Fly Ash*.
- Maspanji, D. A. (2016). Prediksi Penurunan Metode Asaoka pada Tanah Lunak yang diperbaiki dengan *Prefabricated Vertical Drain*. Studi Kasus: Timbunan pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang, Kabupaten Brebes.
- Maulana., Hanova, Y., Waruwu, A., & Putra, E. R. (2019). *Simplified Method for Prediction of Settlement in Bamboo Piles-Reinforced Peat Under Embankment*.
- Nawir, H., Apoji, D., Fatimatuzahro, R., & Pamudji, M. D. (2012). Prediksi Penurunan Tanah menggunakan Prosedur Observasi Asaoka. Studi Kasus: Timbunan di Bontang Kalimantan Timur.
- Nugroho, U. (2008). Stabilisasi Tanah Gambut Rawapening dengan menggunakan Campuran *Portland Cement* dan *Gypsum Sintesis (CaSO42H2O)* ditinjau dari Nilai *California Bearing Ratio (CBR)*.
- Nursawemi, H., Aprianto., & Fasal, A. (2015). Studi Pemampatan Konsolidasi Sekunder Tanah Gambut di Kota Pontianak.
- Waruwu, A. (2013). Peningkatan Nilai Kuat Tekan Tanah Gambut akibat *Preloading*.
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C., & Rifa'i, A. (2017). *Behavior of Nailed-Slab System on Peat Soil Under Loading*.
- Waruwu, A., Husny., & Nasution, T. (2016). Pengaruh Perkuatan *Grid* Bambu akibat Beban Berulang pada Tanah Gambut.
- Waruwu, A., Maulana., & Husny. (2017). *Settlement Estimation of Peat Reinforced with Bamboo Grid Under Embankment*.