

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Karakteristik Tebu (*Saccharum officinarum*)

Tanaman tebu tumbuh di daerah tropika dan sub tropika pada suhu 20<sup>o</sup> c - 35<sup>o</sup>c. Tanah yang baik bagi tanaman yaitu tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah, kekurangan udara dalam tanah mengakibatkan drainase jelek sangat perlu diperhatikan. Kedalaman efektif tanah yang baik untuk tebu adalah 0,5 - 1 m. Tanaman tebu tumbuh pada ketinggian antara 0 - 1400 mdpl. Kemiringan lahan 2%-5%. Tebu tumbuh dengan baik dengan pH 6 - 7,5, curah hujan berkisar antara 1000-1300 mm per tahun. Sinar matahari yang dibutuhkan dalam sehari 12 - 14 jam per hari (Syakir, 2010)

Tanaman tebu memiliki batang berdiri lurus dan beruas-ruas, diameter batang berkisar antara 3-5 cm dengan tinggi batang 2-5 m, akar tanaman tebu termasuk akar serabut, daun tanaman tebu berbentuk busur berseling kekanan dan kekiri serta tepi daun bergelombang dan berbulu keras, bunga tanaman tebu memiliki panjang berkisar 50-80 cm dan memiliki 2 bulir dengan panjang 3-4 mm bunga tanaman tebu berupa bunga majemuk yang berbentuk malai. Waktu berbunga tanaman tebu adalah pada bulan Maret-Mei atau pada permulaan musim kemarau, persarian bunga berlangsung dengan bantuan angin (anemogami) sehingga pembuahan terjadi karena penyerbukan sendiri atau penyerbukan silang, buah tanaman tebu seperti padi dengan satu biji dengan besar lembaga 1/3 panjang biji (Syakir,2010). Air gula pada batang tebu mencapai 20 % mulai dari pangkal sampai ujungnya. Kadar air gula di bagian pangkal lebih tinggi dari pada bagian ujung. Oleh karena itu pada saat pemanenan, batang tebu digali dari tanah sehingga hampir tidak ada yang tersisa. Lain halnya jika akan mengambil hasil beberapa kali maka tanaman tebu dipotong batangnya saja sehingga pangkalnya masih ada dalam tanah (Anonim, 2013a).

## 2.2. Ketersediaan Silika (Si)

Silika (Si) adalah unsur penting untuk tanaman tebu (*Saccharum officinarum*). Pemanfaatan Si pada pemupukan akan menambah ketersediaan Si dalam tanah. Kebutuhan silika dalam tanah berkisar 70-800 kg per ha per tahun. Hasil penelitian di Amerika Serikat (Florida dan Hawaii) dan Mauritius menunjukkan bahwa penerapan pemupukan Si meningkatkan produktivitas tebu sebesar 17-30%, sedangkan gula meningkat sebesar 58 %, serta mengurangi serangan hama antara lain bintik daun, karat tebu (Matichenkov dan Calvert, 2002)

Konsentrasi Silika (Si) dalam larutan pupuk memainkan peran penting dalam pengendalian penyakit, hama serta pertumbuhan dan hasil produktivitas tanaman. Peningkatan konsentrasi Si dalam larutan Si mempengaruhi akumulasi kalium (K) dalam tunas, dan Si dalam daun dan akar. Penambahan Si ke dalam larutan pupuk sebesar 50 - 100 mg  $\ell^{-1}$  meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan penyerapan P, Ca, dan Mg. (Testfagiorgis dan Laing, 2009).

Tebu yang tumbuh di tanah yang sangat lapuk di Mauritius dapat diperbaiki, dengan menerapkan tumbuk halus basal mengandung silika. Tebu dikenal untuk mengambil lebih banyak Si daripada unsur hara mineral lainnya, dengan potensi untuk akumulasi Silika hingga 400 kg ha<sup>-1</sup> dalam 12 bulan. Negara-negara seperti Brazil, Florida, Hawaii, Puerto Rico, Australia, Mauritius dan Afrika Selatan menekankan peran Si dalam mengurangi stres abiotik disebabkan oleh faktor seperti Al dan toksisitas Mn dalam tanah, menghasilkan respon yang signifikan terhadap penerapan kalsium silikat (Meyer dan Keeping, 2002).

Bukti substansial yang lain untuk efek menguntungkan dari pemupukan silikon (Si) adalah hasil tebu dan ketahanan tanaman terhadap penggerek Eldana saccharina Walker (*Lepidoptera: Pyralidae*), Fulmekiola serrata Kobus (*Capsicum Thripidae*). Silika mengurangi kelangsungan hidup penggerek dan kerusakan, tetapi tidak berpengaruh pada jumlah thrips, serta pemberian Silika meningkatkan biomassa tebu, faktor-faktor yang berkontribusi terhadap

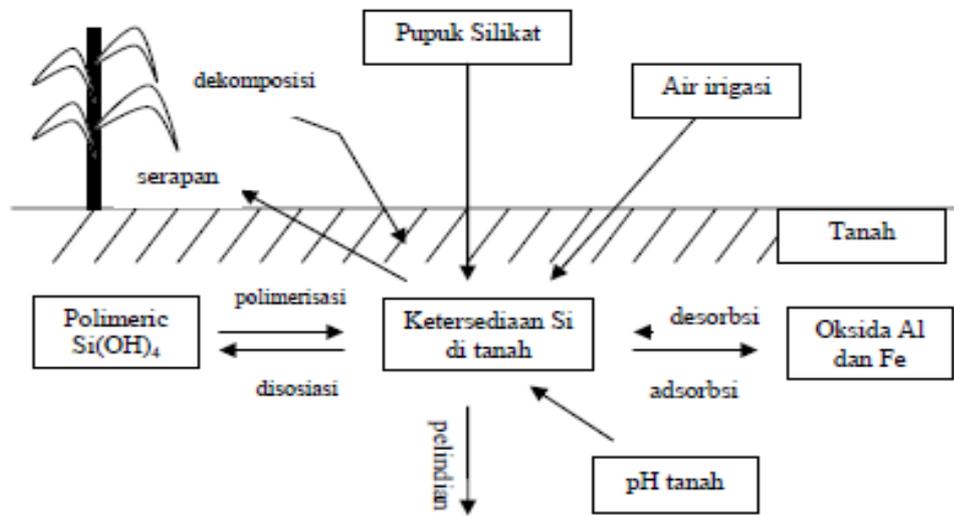
peningkatan biomassa adalah panjang ruas, daun dan jumlah anakan tebu (Keeping *et al.*, 2010).

Penerapan pupuk Si secara rutin pada beberapa jenis tanaman termasuk padi dan tebu untuk meningkatkan hasil panen yang tinggi dan berkelanjutan. Ulasan ini menggambarkan bahwa kemajuan dalam memahami penyerapan dan akumulasi Si, gen baru diidentifikasi dalam penyerapan Si beras, dan peran penting dalam meningkatkan perlawanan stres tanaman. Serapan, translokasi dan akumulasi Si. Unsur Silika diambil oleh akar dalam bentuk asam silikat, sebuah molekul monomer bermuatan pada pH di bawah 9 (Ma dan Yamaji, 2006).

Kehilangan unsur Si dari tanah jarang sekali ditambah melalui pemupukan. Konsentrasi asam monosilikat (bentuk Si yang tersedia bagi tanaman) cenderung terus berkurang pada lahan-lahan pertanian yang dibudidayakan secara intensif. Degradasi kesuburan tanah akan terjadi seiring dengan penurunan kadar asam silikat, terutama karena 2 alasan pertama, berkurangnya asam silikat akan diikuti dengan dekomposisi mineral Si (fenomena keseimbangan hara tanah), dimana yang terakhir ini memiliki arti penting dalam mengontrol berbagai sifat tanah. Kedua, penurunan asam silikat akan menurunkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit (Ma dan Yamaji, 2006)

Unsur hara silikon bukan merupakan unsur yang penting (esensial) bagi tanaman. Unsur hara mikro ini hampir terdapat pada semua tanaman, dalam kadar yang berbeda-beda dan sering juga sangat tinggi. Kadar unsure hara Si dapat menaikkan produksi karena Si mampu memperbaiki sifat fisik tanaman dan berpengaruh terhadap kelarutan P dalam tanah. Kadar Si minimal yang dibutuhkan tanaman padi dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  adalah 5%, dengan adanya Silika maka ketegakan tanaman akan lebih kuat dan tidak mudah roboh (Roesmarkam dan Yuwono, 2002).

Ketersediaan  $\text{SiO}_2$  terdapat hampir pada semua batuan tanah dan ketersediaan Silika tergantung kecepatan pelapukan batuan tersebut. Kadar Si dalam tanah sering dipengaruhi oleh reaksi adsorpsi, temperatur, air irigasi dan pH tanah (Gambar 1).



Gambar 1. Faktor-faktor yang mengontrol ketersediaan Si di tanah (Modifikasi Sumida, 2002)

Air irigasi untuk pertanian sering kali mengandung Si dengan jumlah yang cukup tinggi, kadar Si dalam tanah cenderung tinggi dan pada pH tinggi. Jumlah Si yang terlarut (*dissolved*) dari tanah meningkat seiring meningkatnya suhu. Hal ini berkaitan dengan tingkat pelapukan batuan yang mengandung mineral silikat. (Sumida, 2002; Roesmarkam dan Yuwono, 2002).

Silika juga mengurangi timbulnya embun tepung di mentimun, serta gandum tepat pada daerah lingkaran batang, karat pada kacang, bercak daun di rumput Bermuda (*Cynodon dactylon*) dan abu-abu bercak daun rumput Saint Augustine (*Stenotaphrum secundatum*). Unsur hara Si bertindak sebagai penghalang fisik. Unsur Si diendapkan di bawah kutikula untuk membentuk kutikula ganda. Lapisan ini secara mekanis dapat menghambat tekanan dari jamur serta mengganggu proses infeksi. Unsur Si terlarut berfungsi sebagai modulator perlawanan inang patogen. Beberapa penelitian di tanaman monokotil (beras dan gandum) dan dikotil (mentimun) telah menunjukkan bahwa tanaman yang diberikan Si dapat menghasilkan fenolat dan phytoalexins dalam menanggapi infeksi jamur.

Unsur hara Silika juga mampu mengaktifkan beberapa mekanisme pertahanan pada akar tanaman mentimun yang terinfeksi oleh *Pythium*. Unsur Si

dapat meningkatkan aktivitas Kitinase, peroksidase dan polyphenoloxydases. Pada tanaman padi akumulasi diferensial dari glukonase, peroksidase. Sel epidermis dari kultivar padi rentan terkena jamur apabila tidak diberikan Silika, yang diketahui terlibat dalam dinding sel penguatan dalam sel-sel epidermis. Peningkatan Si menguntungkan pada pertumbuhan tanaman dalam kaitannya dengan cekaman biotik dan abiotik. Efek ini disebabkan deposisi Si dalam jaringan tanaman, yang memberikan penghalang mekanis terhadap serangga. Silika juga meredakan banyak cekaman abiotik termasuk stres kimia (salinitas garam, keracunan logam, ketidak seimbangan nutrisi) dan stres fisik (kekeringan, radiasi UV, suhu tinggi) dan banyak lainnya. Sebagian besar efek menguntungkan ini juga dikaitkan dengan Si deposisi dalam dinding sel akar, daun, batang dan kulit ari.

Pengendapan Si di akar mengurangi apoplastik aliran memotong dan memberikan ruang untuk mengikat logam, sehingga menurunnya penyerapan dan translokasi logam beracun dan garam dari tudung akar. Deposisi Si dalam batang, daun meningkatkan kekuatan dan kekakuan dinding sel dan menghambat transpirasi dari kutikula dan, dengan demikian, meningkatkan ketahanan terhadap rendah dan tinggi suhu, radiasi UV dan kekeringan .

Pada tekanan kekeringan dan garam, efek Si dibuktikan telah terkait dengan peningkatan kemampuan pertahanan antioksidan. Selain peran Si dalam mengurangi berbagai tekanan, Si meningkatkan intersepsi cahaya dengan menjaga ketegakan daun, sehingga merangsang fotosintesis pada tanaman padi. Hal ini sangat penting pada kekuatan batang tanaman sehingga dapat meminimalkan saling tindih antar tanaman. Telah dilaporkan bahwa Si membuktikan terdapat pemanjangan sel pada padi. Unsur Si meningkatkan panjang dari dinding sel di zona tumbuh dan penurunan sel dinding di zona basal yang terisolasi jaringan tangensial dalam endodermal pada dinding di akar, peran Si dalam meningkatkan pemanjangan akar dan dalam melindungi batang sebagai penghalang mekanis dengan pengerasan dinding sel prasasti dan endodermal jaringan. Hal ini sangat penting bagi tanaman mengumpulkan tingkat tinggi Si seperti beras dan tebu. Sebagai contoh, tingkat tinggi akumulasi Si diperlukan untuk pertumbuhan dan produksi berkelanjutan pada padi. Rendahnya hasil Si akumulasi berpengaruh

dalam penurunan hasil dan kualitas padi. Serapan Silika mungkin rumit proses dan dikendalikan oleh beberapa gen dalam padi. Beberapa tanaman gramineous seperti jagung dan gandum juga mengumpulkan Si, meskipun pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan dengan padi. Mekanisme molekuler serapan Si mendasari dalam tanaman ini tidak diketahui serta Si serapan pada spesies tanaman lainnya graminea perlu diisolasi dan dikarakterisasi. Selanjutnya, mengingat bahwa sebagian besar tanaman, terutama dikotil, tidak dapat menumpuk Si dalam jumlah yang cukup besar untuk menjadi bermanfaat, genetik memanipulasi kapasitas serapan Si dari akar mungkin membantu tanaman untuk mengakumulasi lebih Si (Ma dan Yamaji, 2006).

Unsur Si yang cukup pada *Graminae* diharapkan mampu memperoleh hasil yang baik, karena dengan penambahan Si dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan sel. Unsur Si membantu daun untuk lebih tegak dalam pengaruh kondisi pemupukan nitrogen yang tinggi, sehingga bisa meningkatkan tingkat fotosintesis. Penambahan Si yang cukup bisa mengurangi tendensi tanaman serelia untuk layu pada kondisi kekeringan karena penurunan permeabilitas atas uap air dari dinding sel epidermis daun.

### 2.3. Peran Silikon (Si) pada Tanaman Tebu

Ada tiga model berbeda dalam penyerapan Si oleh tanaman yang menyebabkan perbedaan dalam akumulasi Si. Penyerapan aktif yaitu tanaman dengan model penyerapan aktif menyerap Si lebih cepat dari pada menyerap air, sehingga menghasilkan penurunan kandungan Si pada larutan. Penyerapan pasif yaitu tanaman dengan model penyerapan pasif menyerap Si dengan tingkatan yang sama dengan menyerap air, tetapi tidak ada perubahan konsentrasi yang signifikan dalam larutan yang berhasil diamati. *Rejective uptake* yaitu Model *rejective uptake* cenderung untuk mengeluarkan Si yang dibuktikan dengan terjadinya peningkatan konsentrasi Si dalam larutan (Mitani dan Ma, 2005).

Keberadaan tanaman tebu menyerap Si dalam bentuk  $H_4SiO_4$  pada daerah daun dan batang yaitu suatu bentuk Si yang tidak bermuatan sehingga relatif tidak mobil dalam tanaman (Ma dan Yamaji, 2006). Konsentrasi Si dalam tanaman tebu sangat tergantung kepada konsentrasi Si yang larut dalam air tanah. Pergerakan Si

dari akar ke batang dan bagian tanaman lainnya mengikuti aliran air. Air diserap akar, masuk ke batang kemudian menguap lewat batang/daun. Unsur Si terakumulasi dalam sel epidermis tebu, kemudian berintegrasi memberikan kekuatan pada batang dan daun tebu. Distribusi Si dalam batang dan daun tergantung pada laju evapotranspirasi tanaman (Savant *et al.*, 1999).

Pengaruh Asam monosilikat pada sifat-sifat tanah berpengaruh terhadap unsur Fosfor (P). Penambahan Si pada tanah melalui dua proses yaitu peningkatan konsentrasi Asam monosilikat pada tanah akan menghasilkan pengubahan P tidak larut menjadi P tersedia bagi tanaman. Fosfor yang tidak tersedia bagi tanaman berhenti pada sisi sematam menyebabkan P tersemat menjadi tersedia bagi tanaman. Hal ini karena  $\text{SiO}_4^{4-}$  memiliki elektronegatifitas lebih besar dibandingkan  $\text{PO}_4^{3-}$  sehingga  $\text{SiO}_4^{4-}$  dapat menggantikan  $\text{PO}_4^{3-}$  yang tersemat. Proses kedua yaitu Si dapat mengikat P sehingga pelindian P berkurang sekitar 40 - 90 % (Matichenkov dan Calvert, 2002).

Pengaruh lainnya adalah Si dapat mengatasi keracunan tebu akibat kelebihan mangan (Mn) Tebu akan tumbuh baik pada rasio Mn/SiO<sub>2</sub> rendah. Bila tersedia Si yang cukup dalam tanah, tebu akan mengambilnya sehingga kadar Si dalam jaringan tanaman sama atau di atas 0,7% (berat kering). Pada kondisi demikian, rasio Mn/SiO<sub>2</sub> dalam jaringan tebu akan turun. Rasio yang rendah ini menyebabkan tanaman tumbuh lebih baik (Clements, 1965).

Selain itu, keberadaan Si akan mendorong distribusi Mn yang lebih merata sehingga bisa terhindar dari akumulasi Mn seperti di daun yang berakibat pada nekrosis (Hodson dan Sangster, 2002). Pemberian Si juga berguna untuk mengurangi keracunan tebu terhadap Al dan Fe pada beberapa jenis tanah masam. Kadar  $\text{Si(OH)}_4$  dalam larutan tanah akan meningkatkan reaksi hidrolisis Al sehingga aktifitasnya menurun. Pasokan Si yang cukup meningkatkan efisiensi transpor oksigen dari bagian atas tanaman ke akar melalui pembesaran saluran gas. Sebagai hasilnya akan meningkatkan oksidasi dan (*deposition*) Al dan Fe pada unsur tersebut dari serapan berlebih oleh tanaman. Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa Si memperbaiki keracunan Al terhadap tanaman, tidak hanya dengan menurunkan aktivitas  $\text{Al}_3^+$  dalam larutan tanah, tetapi juga mengurangi keracunan Al pada bagian dalam tubuh tanaman (Savant *et al.*, 1999).

Peningkatan kadar Si dalam tebu dapat meningkatkan kekuatan mekanis pada jaringan sehingga bisa mencegah terjadinya kerobohan tanaman. Pada kondisi lapang dimana tebu tumbuh lebat biasanya daun dari satu tanaman dengan tanaman lainnya akan saling tumpang tindih bersaing memperebutkan cahaya. Pemberian Si menyebabkan daun tumbuh lebih kuat dan bisa merentang dengan baik, sehingga bisa mengurangi dampak negatif saling menaungi. Dampaknya lebih jauh menyebabkan proses fotosintesis relatif berjalan lancar. Unsur Si dalam daun membantu translokasi karbon hasil fotosintesis, serta hasil atau produksi tanaman akan meningkat dengan menguatnya batang dan akar serta lebih efektif terhadap fotosintesis karena posisi daun (kanopi) menjadi tegak sehingga daun dapat menyerap cahaya matahari lebih banyak (Roesmarkam dan Yuwono, 2002).

Penggunaan pupuk terak silikat sebagai sumber Si bagi tebu telah banyak dilakukan di Hawaii, Mauritius dan Florida. Respon tebu terhadap pemupukan Si akan terlihat terutama pada tanah-tanah yang kekurangan Si. Pemupukan Si secara rutin pada tanah-tanah berkadar Si rendah di Hawaii dapat meningkatkan hasil tebu dan gula antara 10-50 % (Birowo *et al.*, 1992).

Efek positif pemupukan Si biasanya akan terbawa hingga tanaman keprasan. Pemberian 6,2 ton per ha terak Si di Hawaii memberikan hasil tebu dan gula 20% lebih banyak hingga keprasan keempat (Ayres, 1966). Pemberian bahan serupa di Mauritius bahkan bisa meningkatkan hasil tebu hingga keprasan keenam, sementara di Florida hingga keprasan ketiga (Alvarez dan Gascho, 1979). Pemberian terak baja sebanyak 1-3 ton per ha dapat meningkatkan hasil tebu dan gula baik pada tanaman pertama (PC) maupun keprasan (Allorerung, 1989). Peningkatan hasil tebu dan gula di atas sebagian besar terjadi karena kenaikan bobot tebu dan bukan oleh kenaikan rendemen. Hal ini mengindikasikan bahwa Si memperbaiki efisiensi fotosintesis tanaman tebu.

Beberapa tanaman Graminae membutuhkan Silikon (Si) untuk mencapai kondisi kesehatan maksimum dan ketahanan terhadap hama dan penyakit (Zeyen, 2002). Pemberian Si dapat meningkatkan ketahanan tebu pada beberapa serangan penyakit seperti karat pada daun tebu (*sugarcane rust*), bintik-bintik hitam/coklat (*leaf freckle*), dan noda cincin (*sugarcane ringspot*) (Matichenkov and Calvert, 2002).

Karat daun yang membentuk bintik warna coklat dapat menyebabkan daun mati lebih awal dan menurunkan hasil tebu. Daun yang terserang karat memiliki efisiensi fotosintesis rendah (Ricard *et al.*, 1989). Kandungan Si dihipotesiskan bergabung dengan selulosa di daun membentuk membran Si selulosa, yang dapat melindungi daun dari serangan penyakit (Bollich dan Matichenkov, 2002).

Keberadaan serangan hama penggerek batang dan pucuk dapat berkurang dengan pemberian Si. Larva penggerek sebelum memulai serangan ke batang, terlebih dulu memakan jaringan epidermis penutup daun atau batang. Kristal Si dalam jaringan tersebut menghindari terjadinya serangan, sebab serangga penyebab penggerek masih memiliki rahang yang rapuh (Anonim, 2013b).

#### 2.4. Kadar Si pada Daun Tebu

Sebagian besar Si terdapat di dinding luar sel epidermis pada kedua permukaan daun serta dalam pembungaan *spesies gramineae* dan disimpan setelah penguapan air pada akhir dari aliran transpirasi. Terdapat peningkatan kebutuhan untuk memodifikasi Si pada deposisi dalam dinding sel sebagai murni fisik proses kestabilan daun (kekakuan daun) dari jaringan dan bertindak sebagai penghalang mekanik untuk patogen. Tanaman tebu mampu menyimpan Si hingga 3% dalam daun-daunnya. Silikon mungkin terlibat dalam sel perpanjangan dan/atau pembelahan sel. Deposit Silikon tertinggi terdapat pada dinding bagian dalam dari sel epidermis akar dan sel-sel silica pada epidermis daun dan batang (Hodson dan Sangster, 1989).

Pada kondisi di lapangan tingkat serapan Si berhubungan linier dengan peningkatan diameter batang tanaman (Elawad *et al.*, 1982). Gascho (2001) melaporkan bahwa penerapan TVA (*Tennessee Valley Authority*) terak dan Na silikat untuk tebu ditanam rumah kaca meningkatkan tinggi tanaman, serta mengindikasikan bahwa beberapa efek dari Si pada tebu adalah batang dengan diameter lebih besar dan peningkatan jumlah serapan.

Daun tebu terkandung sekitar 2,5 persen Si (Halais dan Parish 1963) menyarankan tingkat kritis 1,25% Si dan 125 mg dm<sup>-3</sup> dari Mn. Jika tingkat Si berada di bawah nilai ini, tanaman dalam kondisi kurang optimal. Penelitian di Florida (Anderson, 1991) membuktikan bahwa setidaknya 1% Si (2,1% SiO<sub>2</sub>

dalam bahan kering daun) diperlukan untuk hasil optimal tebu sebesar 0,25% Si, hasil yang turun menjadi sekitar 50%.

Menurut Rodrigues *et al.* (1998), meningkatkan Si 924 kg/ha dengan menggunakan *Wollastonite* ( $\text{CaSiO}_3$ ), mengakibatkan substansial peningkatan kandungan Si di daun 0,7 - 1,93% dan Si dalam tanah 14 - 46 mg  $\text{dm}^{-3}$ .

Korndörfer *et al.*, (1999) juga menemukan bahwa tebu kultivar memiliki kapasitas yang berbeda untuk mengumpulkan Si pada daun. Tingkat Si dalam daun itu terdiri dari daun bagian bawah, tengah dan atas (0,76, 1,04, dan 1,14%.)

