

## STABILISASI TANAH PASIR KELANAUAN DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN DAN *SLUDGE* HASIL PRODUKSI *SPUN PILE*

Aldi Ade Budiman<sup>1</sup>, Ngurah Joshua Pramana<sup>2</sup> and Gogot Setyo Budi<sup>3</sup>

**ABSTRAK :** Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan *sludge* dan semen terhadap kuat kokoh tanah pasir kelanauan. Material *sludge* dipersiapkan dengan cara dijemur selama empat hari untuk mempresentasikan keadaan lapangan. Sampel penelitian menggunakan campuran semen sebanyak 7% dari berat kering tanah, dan *sludge* sebanyak 0%, 10%, dan 30% menggantikan berat semen. Sampel tanah dipadatkan dengan tambahan semen dan *sludge* sesuai dengan *optimum water content* sampel tersebut. Penelitian ini mengukur *CBR* dan *UCS* sampel dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked*. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan hasil *CBR* seiring bertambahnya kadar *sludge* dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked*. Selain itu, hasil uji mencatat peningkatan *UCS* sampel dengan hasil tertinggi pada sampel dengan 10% *sludge* dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked*. Penelitian ini menunjukkan *sludge* memiliki dampak peningkatan kekokohan tanah yang lebih baik ketika sampel direndam yang menghasilkan *CBR* dan *UCS* yang lebih stabil.

**KATA KUNCI:** pasir kelanauan, semen, *sludge*, *CBR*, *UCS*, *soaked*, *unsoaked*

### 1. PENDAHULUAN

Tanah memiliki karakteristik yang beragam dan tidak semua memiliki daya dukung yang baik. Salah satu jenis tanah tersebut adalah lanau dengan daya dukung yang rendah. Jenis tanah ini memiliki kapilaritas tinggi dan mengandung banyak senyawa organik (Pan et al., 2020). Badan Geologi Kementerian ESDM RI (2019) mengungkapkan bahwa masalah yang sering dijumpai di bidang konstruksi akibat tanah lunak seperti lanau adalah penurunan (*settlement*). Untuk mengatasi masalah ini, peningkatan daya dukung tanah atau *soil stabilization* perlu dilakukan. *Soil stabilization* dapat dilakukan dengan menggunakan material sisa atau limbah, salah satunya endapan *slosh (sludge)*. *Sludge* memiliki kandungan komposisi kimia yang relatif identik dengan semen yang mana dapat digunakan sebagai *stabilizing agent* untuk tanah lanau. Dalam penelitian Tsimas dan Zervaki (2011), *sludge* dibakar pada suhu 100<sup>0</sup>C dan 400<sup>0</sup>C, alhasil senyawa kimia kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) yang ada di dalam *sludge* terurai menjadi kalsium oksida (CaO). Kalsium oksida (CaO) merupakan salah satu kandungan terbesar yang ada di dalam semen *Portland*.

Pemanfaatan *sludge* untuk mestabilisasi tanah sendiri telah dilakukan oleh Hackim dan Sunarno (2019) dan didapatkan bahwa *sludge* dapat meningkatkan kekokohan tanah lempung ekspansif namun demikian juga meningkatkan nilai *heaving* jika dibandingkan dengan tanah aslinya.

Penelitian ini melihat pengaruh dari penambahan semen dan *sludge* terhadap tanah pasir kelanauan melalui pengujian *CBR* dan *UCS*. Pemanfaatan *sludge* sebagai material tambahan untuk menstabilisasi tanah ini dapat mengurangi penggunaan semen. Hal ini tidak hanya bermanfaat sebagai usaha penghematan mengingat sumber daya untuk produksi semen kian hari semakin berkurang, namun juga

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415186@john.petra.ac.id.

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415193@john.petra.ac.id.

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, gogot@petra.ac.id.

turut menekan tingkat polusi (CO<sub>2</sub>) dari produksi semen cukup tinggi dengan dampak negatif terhadap kualitas udara di sekitarnya (Mutiarra & Hadiyanto, 2013).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Studi mengenai penggunaan *sludge* yang merupakan material sisa atau limbah telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Chatveera dan Lertwattanak (2009) melakukan penelitian mengenai komposisi kimia yang terkandung dalam *sludge* hasil endapan air *slosh ready mix*. Kandungan kimia tersebut didapatkan dengan cara memanaskan *sludge* pada suhu 110±5°C. Hasil penelitian tersebut menunjukkan komposisi kimia dari *sludge* relatif mirip dengan semen *Portland* tipe 1. Penelitian serupa dilakukan oleh Tsimas dan Zervaki (2011). Analisis komposisi kimia dalam *sludge* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang mana hasil analisis memperlihatkan bahwa kandungan utama dari *sludge* tersebut adalah CaO.

Beberapa penelitian mengenai stabilisasi tanah menggunakan semen sebagai bahan aditif juga telah dilakukan sebelumnya. Pongsivasathit et al. (2019) meneliti sifat mekanis semen dalam menstabilisasi tanah, yang mana didapatkan *unconfined compressive strength* (UCS) tertinggi dengan campuran semen sebesar 4%, 6% dan 7.5% untuk tanah kepasiran, tanah laterit, dan tanah lempung. Sementara penelitian Jauberthie et al. (2010) menstabilisasi tanah lanau mendapatkan hasil UCS tertinggi pada sampel dengan campuran 7% semen dan campuran dengan 3.5% semen ditambah 3.5% kapur sebesar 2.3 Mpa. Berdasarkan kedua penelitian di atas, kadar semen 7% memberikan kenaikan daya dukung yang cukup efektif untuk menstabilisasi tanah. Dalam stabilisasi tanah menggunakan *sludge* dan semen. Wang et al. (2011), menyatakan bahwa kadar semen pada sampel memiliki dampak terhadap sifat atau karakteristik dari stabilisasi *sludge*. Kadar semen tidak hanya berdampak pada *strength* tanah tetapi terhadap permeabilitas dan penyusutan sampel tanah

Penelitian mengenai stabilisasi tanah sendiri telah dilakukan oleh beberapa pihak, Jauberthie et al. (2010) melakukan penelitian stabilisasi tanah lanau (*estuarine silt*) menggunakan semen dan kapur sebagai *stabilizing agent*. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa stabilisasi *estuarine silt* menggunakan campuran 3.5% semen dan 3.5% kapur menghasilkan nilai CBR terbesar yaitu 31% pada umur tujuh hari dengan UCS paling tinggi sebesar 3 MPa pada umur 28 hari. Zhang et al. (2019) melakukan penelitian stabilisasi tanah lanau menggunakan *lignin*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *lignin* dapat digunakan untuk meningkatkan UCS tanah lanau. Namun, dibutuhkan waktu *curing* selama 1 bulan untuk menyempurnakan kemampuan *lignin* sebagai *stabilizing agent*.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari lokasi proyek di daerah Dayurejo, Kecamatan Prigen, Pasuruan. *Sludge* yang digunakan sendiri merupakan limbah padat yang berasal dari produksi pabrik *spun pile* yang berlokasi di Mojokerto. Sebelum digunakan *sludge* tersebut dipanaskan dibawah sinar matahari selama empat hari untuk mensimulasikan kondisi lapangan. *Sludge* yang digunakan dalam penelitian ini dipastikan lolos ayakan no. 4. Semen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Portland Pozzoland Cement* (PPC) Semen Gresik.

Sebelum memulai penelitian terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik dari tanah yang akan diuji. Terdapat empat metode pengujian karakteristik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *grain size distribution* yang dibagi menjadi dua pengujian lagi yakni analisa ayakan (*wet method*) dan juga *hydrometer*, selanjutnya pengujian *liquid limit*, *plastic limit* dan juga *specific gravity* (GS). *Compaction test* diujikan pada setiap sampel dengan takaran campuran semen dan *sludge* yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk menemukan *optimum water content* dari tiap takaran campuran semen dan *sludge* yang berbeda. Metode yang digunakan untuk *compaction test* sendiri menggunakan *standard proctor* dengan kondisi tanah sudah dipanaskan dengan oven pada suhu 100+°C selama

minimal 24 jam. Percobaan ini dilakukan secara berulang dengan kadar air yang ditingkatkan sebanyak 3%-8% setiap kali pengulangannya, hingga massa tanah sampel dalam *mold* berkurang dari percobaan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengurangan kepadatan tanah.

Metode pengujian kekokohan sampel tanah pada penelitian ini adalah metode *CBR* (ASTM D1883) dan *UCS* (ASTM D2166). **Tabel 1** menunjukkan jumlah sampel yang dipersiapkan, dan juga tiga variabel yang mempengaruhi pengujian kekokohan tanah. Ketiga variabel ini adalah perendaman, umur *curing* dari sampel, dan kadar *sludge*. *Sludge* digunakan untuk menggantikan sebagian dari berat kering semen dalam campuran tanah asli dan semen.

**Tabel 1. Rangkuman Perencanaan Sampel Penelitian**

No	Sampel	Kondisi	Metode	Umur Curing (hari)	Jumlah Sampel (buah)
1	Tanah Asli	Unsoaked	CBR	0	2
			UCS	0	-
		Soaked	CBR	0	2
			UCS	0	-
2	Semen 7% + 0% Sludge	Unsoaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3
		Soaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3
3	Semen 7% + 10 Sludge	Unsoaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3
		Soaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3
4	Semen 7% + 30% Sludge	Unsoaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3
		Soaked	CBR	7	3
				14	3
			UCS	7	3
				14	3

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

Analisis karakter tanah asli dengan standar *AASHTO* dan *Plasticity Index* menunjukkan bahwa tanah asli terklasifikasi A-2-4 berbutiran kasar. Rangkuman karakteristik tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Karakteristik Tanah Asli**

Liquid Limit	36.90
Plastic Limit	32.36
Plasticity Index	4.54
Spesific Gravity	2.45
Silt (%)	22.9

Setiap sampel akan dipadatkan dengan *optimum water content* untuk mencapai kepadatan maksimum. Hasil percobaan *standard proctor* pada setiap sampel dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3. Optimum Water Content dan Kepadatan Tanah Asli dan Sampel Percobaan**

Jenis Sampel	Optimum $w_c$ (%)	gdry (ton/m <sup>3</sup> )
Tanah Asli	8	1.37
7% Semen dan 0% <i>Sludge</i>	23	1.42
7% Semen dan 10% <i>Sludge</i>	28	1.48
7% Semen dan 30% <i>Sludge</i>	29	1.28

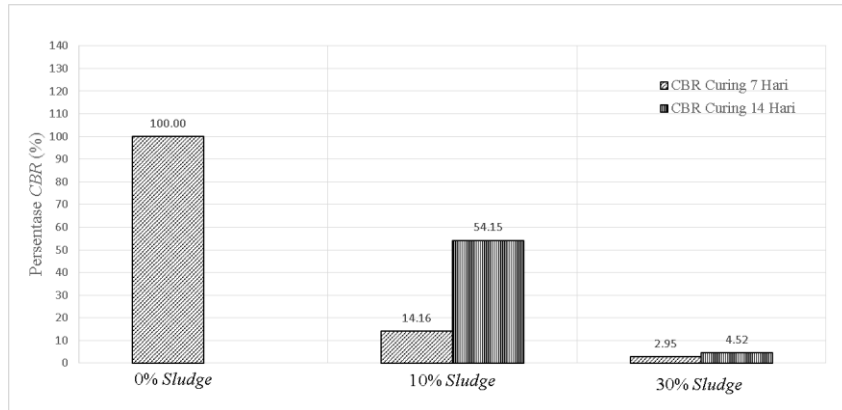
**Tabel 3** menunjukkan peningkatan kepadatan dari sampel tanah seiring meningkatnya kadar *sludge* pada sampel, dengan kepadatan tertinggi didapati pada sampel dengan 10% *sludge*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh daya *water absorption sludge* yang lebih tinggi dari pada semen.

Percobaan *CBR soaked* dan *unsoaked* menggunakan tanah asli dan sampel dengan penambahan semen dan *sludge* dipadatkan dengan *optimum water content* yang sesuai. Hasil dari percobaan *CBR* tanah asli dapat dilihat pada **Tabel 4**.

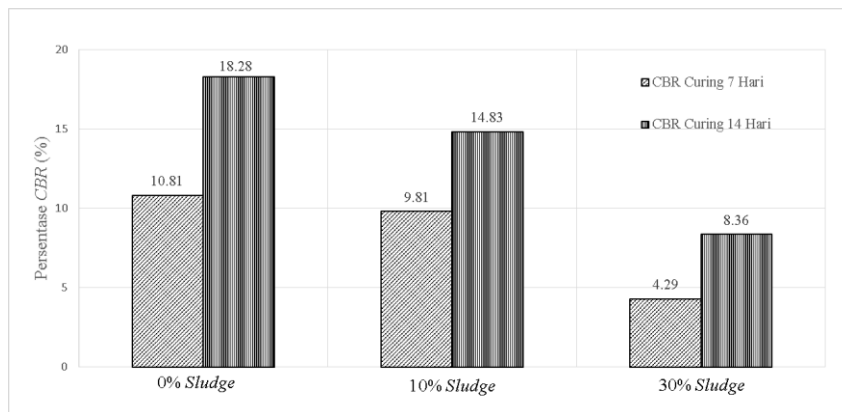
**Tabel 4. Hasil CBR Tanah Asli**

Sampel 1	<i>Soaked</i>		<i>Unsoaked</i>	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetrasi (Inch)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Gaya (Lbs)	11.57	-	600	1070
<i>CBR</i> (%)	0.39	-	20	23.78
Sampel 2	<i>Soaked</i>		<i>Unsoaked</i>	
Penetrasi (Inch)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Gaya (Lbs)	10.07	-	580	1030
<i>CBR</i> (%)	0.34	-	19.33	22.89

Percobaan *CBR* pada tanah asli menunjukkan penurunan kekokohan tanah yang cukup signifikan ketika sampel tanah direndam. Nilai *CBR* tanah asli yang diperoleh dalam keadaan *soaked* dan *unsoaked* sebesar 0.36% dan 23.33%. Hasil percobaan *CBR* sampel tanah dengan penambahan semen dan *sludge* dalam kondisi *unsoaked* dan *soaked* dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



**Gambar 1. Hasil Percobaan CBR Unsoaked**

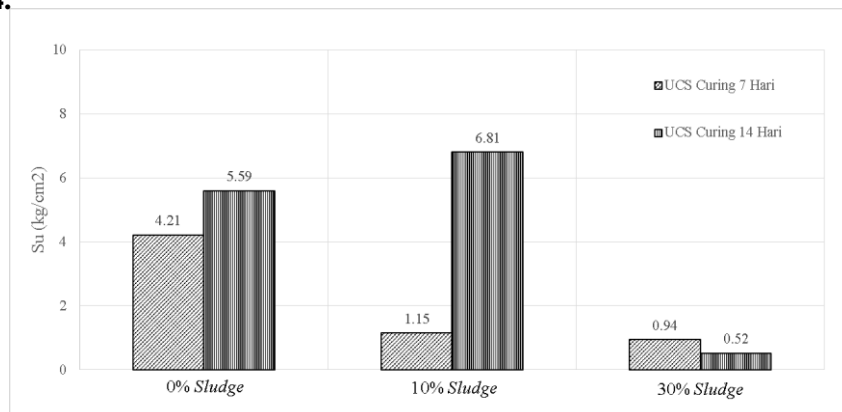


**Gambar 2. Hasil Percobaan CBR Soaked**

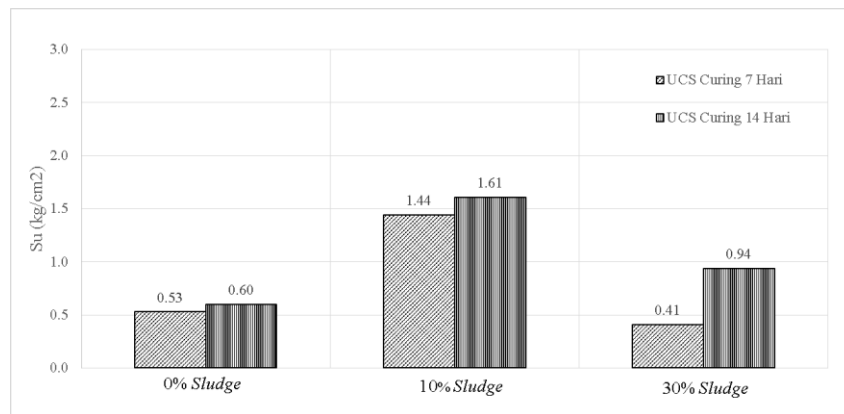
Berdasarkan hasil percobaan pada **Tabel 5**, perendaman sampel berpengaruh terhadap hasil *CBR* sampel. Secara umum terjadi penurunan kecuali pada sampel dengan 30% *sludge* yang mana terjadi peningkatan nilai *CBR* pada sampel *soaked*. Nilai *CBR* tertinggi pada percobaan ini terlihat pada sampel dengan 0% *sludge* dalam keadaan *unsoaked* dan *soaked*.

Hal tersebut disebabkan oleh daya *water absorption sludge* yang lebih besar dari semen, sehingga sampel dengan 30% *sludge* dapat menghasilkan nilai *CBR* yang lebih tinggi dikarenakan perendaman sampel tersebut. Sementara sampel serupa dalam keadaan *unsoaked*, menghasilkan nilai *CBR* yang rendah dengan peningkatan *CBR* yang kecil seiring masa *curing*.

Hasil percobaan *UCS* pada sampel dengan semen dan *sludge unsoaked* dan *soaked* pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



**Gambar 3. Hasil UCS Unsoaked**



**Gambar 4. Hasil UCS Soaked**

Berdasarkan hasil percobaan UCS di atas, sampel yang memiliki UCS tertinggi adalah sampel dengan 10% *sludge* sebesar 1.61 kg/cm<sup>2</sup> dan 6.81 kg /cm<sup>2</sup> masing-masing dalam kondisi *soaked* dan *unsoaked*. Sampel dengan 30% *sludge* mengalami penurunan UCS seiring berjalannya masa curing dalam kondisi *unsoaked*.

Hal tersebut dapat disebabkan oleh daya *water absorption sludge* yang tinggi. Karakteristik tersebut menyebabkan sampel dengan 30% *sludge soaked* memiliki UCS yang lebih tinggi daripada sampel *unsoaked*, sementara sampel yang serupa dengan kondisi *unsoaked* mengalami penurunan UCS seiring berjalannya waktu *curing* yang dikarenakan sampel kekurangan air.

## 5. KESIMPULAN

Peningkatan kadar *sludge* pada sampel tanah akan meningkatkan *optimum water content* sampel tersebut. Hal tersebut dapat disebabkan oleh daya *water absorption sludge* yang tinggi. Perubahan kadar semen dan *sludge* berdampak pada kepadatan sampel yang mana  $\gamma_{dry}$  tertinggi didapati pada sampel dengan penambahan 10% *sludge*.

Pada umumnya perendaman sampel menyebabkan penurunan nilai *CBR* dan *UCS* pada sampel, kecuali sampel dengan 30% *sludge*. Sampel tersebut diamati mengalami peningkatan nilai *CBR* dan *UCS* pada kondisi *soaked*. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik *sludge* yang membutuhkan kadar air yang tinggi, sehingga sampel dengan peningkatan kadar *sludge* memerlukan perendaman untuk mencapai hasil yang lebih baik.

Masa curing 7 dan 14 hari, meningkatkan nilai *CBR* dan *UCS*, kecuali pada sampel dengan 30% *sludge*. Sampel tersebut mengalami penurunan *UCS* seiring berjalannya waktu. Peningkatan kadar *sludge* pada sampel juga berdampak pada nilai *CBR* dan *UCS* sampel. Peningkatan kadar *sludge* menyebabkan terjadinya penurunan nilai *CBR*. Sementara peningkatan kadar *sludge* sebanyak 10% menghasilkan *UCS* sampel tertinggi dalam penelitian ini.

*Sludge* dapat berpengaruh positif terhadap kekokohan tanah yang diukur dengan percobaan *CBR* dan *UCS* apabila sampel dengan material *sludge* direndam atau dipastikan memiliki kadar air yang cukup untuk mengatasi daya *water absorption sludge* yang tinggi.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- Badan Geologi Kementerian ESDM RI. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia* [Peta]. Jakarta, Indonesia.
- Chatveera, B., & Lertwattanaruk, P. (2009). Use of Ready-Mixed Concrete Plant Sludge Water in Concrete Containing an Additive or Admixture. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1901–1908. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.008>
- Hackim, N. & Sunarno, H. (2020). *Penelitian Awal tentang Pengaruh Penambahan Sludge Hasil Limbah Pembuatan Spun Pile terhadap Kestabilan Tanah Ekspansif* (TA NO. 21012395/SIP/2020). Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Jauberthie, R., Rendell, F., Rangeard, D., & Molez, L. (2010). Stabilisation of Estuarine Silt with Lime and/or Cement. *Applied Clay Science*, 50(3), 395–400. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.09.004>
- Mutiara, F. R., & Hadiyanto. (2013). Evaluasi Efisiensi Panas dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Rotary Kiln Pabrik Semen. *Teknik*, 34(1), 9–13. <https://doi.org/10.14710/teknik.v34i1.4812>
- Pan, C., Xie, X., Gen, J., & Wang, W. (2020). Effect of Stabilization/Solidification on Mechanical and Phase Characteristics of Organic River Silt By A Stabilizer. *Construction and Building Materials*, 236, 117538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117538>
- Pongsivasathit, S., Horpibulsuk, S., & Piyaphipat, S. (2019). Assessment of Mechanical Properties of Cement Stabilized Soils. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00301>
- Tsimas, S., & Zervaki, M. (2011). Reuse of Waste Water from Ready- Mixed Concrete Plants. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 22(1), 7–17. <https://doi.org/10.1108/14777831111098444>
- Wang, Z., Xu, S., Yan, L., Guo, P., & Qian, C. (2011). Shrinkage Properties of Cement Solidified Sludge with High Water Content. *Advanced Materials Research*, 168–170, 1496–1500. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.168-170.1496>
- Zhang, T., Liu, S., Zhan, H., Ma, C., & Cai, G. (2019). Durability of Silty Soil Stabilized with Recycled Lignin for Sustainable Engineering Materials. *Journal of Cleaner Production*, 24, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119293>