

Submodel stock flow diagram produksi semen

Angka pertumbuhan penduduk didapatkan dari data pertumbuhan penduduk BPS (*Badan Pusat Statistik*, n.d.-a) dengan rumus :

- Angka pertumbuhan penduduk =
 $\text{GRAPH}(\text{TIME};2015;1;\{1,138; 1,106; 1,074 ; 1,041 ; 1,008//\text{Min}:-1;\text{Max}:11//\}\ll\%/\text{year}\gg)$

Yang dikalikan dengan auxillary pertumbuhan penduduk dengan rumus :

- $\text{Pertumbuhan penduduk} = \text{'Angka pertumbuhan penduduk'}$
 * Penduduk

Jumlah penduduk yang berupa stock akan bertambah dan memengaruhi auxillary permintaan semen berdasarkan “F permintaan semen” berdasarkan data dari ASI ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2021) dengan rumus :

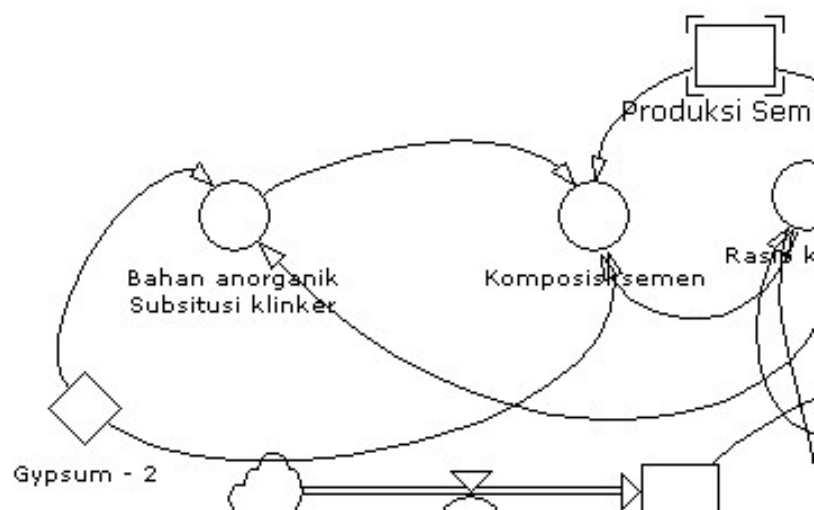
- $\text{F permintaan semen} = \text{GRAPH}(\text{TIME};2015;1;\{ 0,24189 ; 0,23766 ; 0,25820 ; 0,26909 ; 0,26682 ; 0,23593//\text{Min}:-1;\text{Max}:11//\}\ll\text{Ton}/\text{jiwa}\gg)$

Produksi semen akan dipengaruhi oleh “ketersediaan semen” dan “pertumbuhan produksi semen” yang dipengaruhi oleh variable “F produksi semen” dari dari ASI ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2021) dengan rumus sebagai berikut :

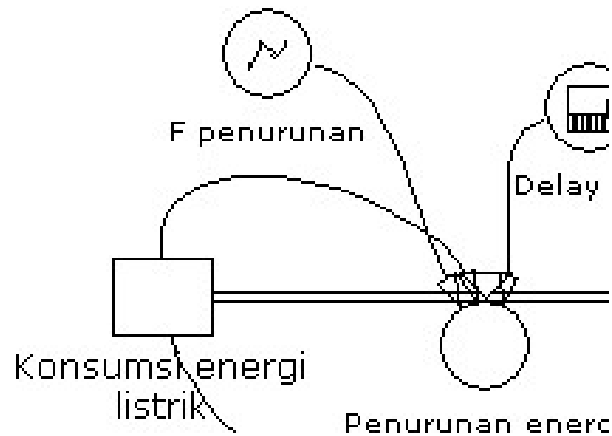
- F produksi semen =
 $\text{GRAPH}(\text{TIME}; 2015; 1; \{1,535; 11,516; 5,191; 1,667; -9,888; 2,468 // \text{Min:} -1; \text{Max:} 11 // \} \ll \% / \text{year} \gg)$
- Pertumbuhan produksi semen = 'F Produksi semen' * 'Produksi Semen'
- Permintaan semen = 'Produksi Semen' - 'Permintaan semen'

Model Simulasi Stock Flow Diagram Subsitusi Klinker

Pada submodel ini komposisi semen akan dipengaruhi oleh rasio klinker yang merupakan jumlah bahan baku anorganik lain yang dapat menggantikan klinker sebagai bahan campuran semen. Pada submodel ini bahan baku pengganti klinker adalah kapur (CaCO_3) dan gipsium sebagai retardan semen. Konstata Subsitusi klinker yang ditandai dengan warna coklat pada model adalah konstanta yang akan dipakai sebagai skenario sistem dinamik. Gambar 4.9 memperlihatkan hubungan stock flow pada submodel subsitusi klinker.



Submodel stock flow diagram subsitusi klinker



Submodel stock flow diagram Efisiensi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik berupa flow yang dapat bertambah stocknya dengan variable “F penurunan” dan skenario “efisiensi energi listrik”

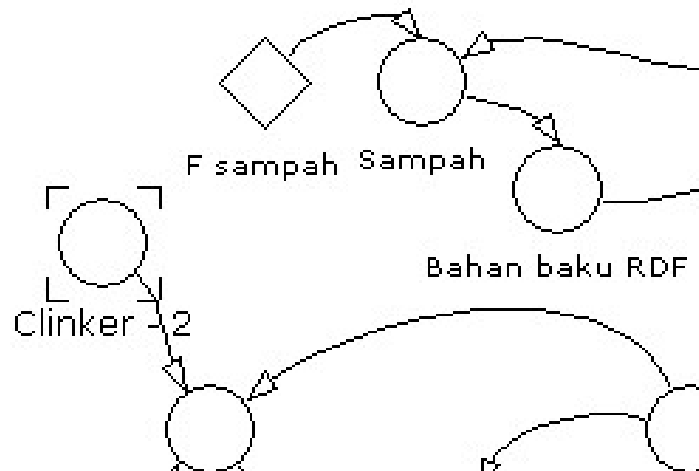
- $\text{Penurunan energi listrik} = \text{IF}(\text{'Konsumsi energi listrik'} > \text{'Delay EEL'}; \text{'Konsumsi energi listrik'} * \text{'F penurunan'})$
- $\text{F penurunan} = \text{GRAPH}(\text{TIME}; 2015; 1; \{ 1,9762 ; 3,6623; 0,9415; 1,2523 ; 3,8860; 0,5 // \text{Min:} -1; \text{Max:} 11 // \} << \% >>)$

Penggunaan auxillary “Energi listrik” akan tergantung dari “produksi semen” dan “konsumsi energi listrik” dengan rumus :

- $\text{Energi listrik} = (\text{'Produksi Semen'} * \text{'Konsumsi energi listrik'})$

Model Simulasi Stock Flow diagram Bahan Bakar Alternatif

Pada model ini akan dipakai asumsi bahwa sampah yang diolah menjadi RDF akan dianggap sebagai bahan bakar alternatif mengganti batubara, karena sampah adalah masalah nasional dan sumber bahan bakar yang jumlahnya banyak, model *stockflow* dari akan menggunakan konstanta bahan bakar alternatif sebagai skenario simulasi.



Submodel stock flow diagram Bahan Bakar Alternatif

Pada submodel ini konsumsi batubara didapatkan dari variable “ F batu bara” dan jumlah “clinker” yang akan dibakar dalam kiln dengan pengurangan dari auxillary “TSR” yang merupakan bahan bakar alternatif dengan persamaan :

- $$\text{Batu bara} = (\text{Clinker} - 2 * \text{F batu bara}) - ((\text{Clinker} - 2 * \text{F batu bara}) * \text{TSR})$$

Auxillary “TSR” sendiri diasumsikan sebagai *Thermal Substitution Rate* yang didapatkan dari RDF (*refused derived fuel*) hasil pengolahan sampah yang mana jumlah sampah yang dihasilkan tergantung dari jumlah penduduk yang menghasilkan sampah sebagai konstanta “F sampah” sebesar 0,2 6 kg/jiwa berdasarkan data KLHK(*SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*, n.d.) dan konversi sampah menjadi variabel RDF dengan persamaan

- $$\text{RDF} = \text{GRAPH}(\text{'Bahan baku RDF'; } 0 \ll \text{Ton} \gg; 13290570, 80 \ll \text{Ton} \gg; \{20 ; 27 ; 33 ; 37 ; 42 ; 48 ; 54 ; 59 ; 65 ; 70 ; 76 ; 82 ; 93 ; 106 ; 115 ; 123 ; 132 ; 139 ; 147 ; 154 ; 16$$

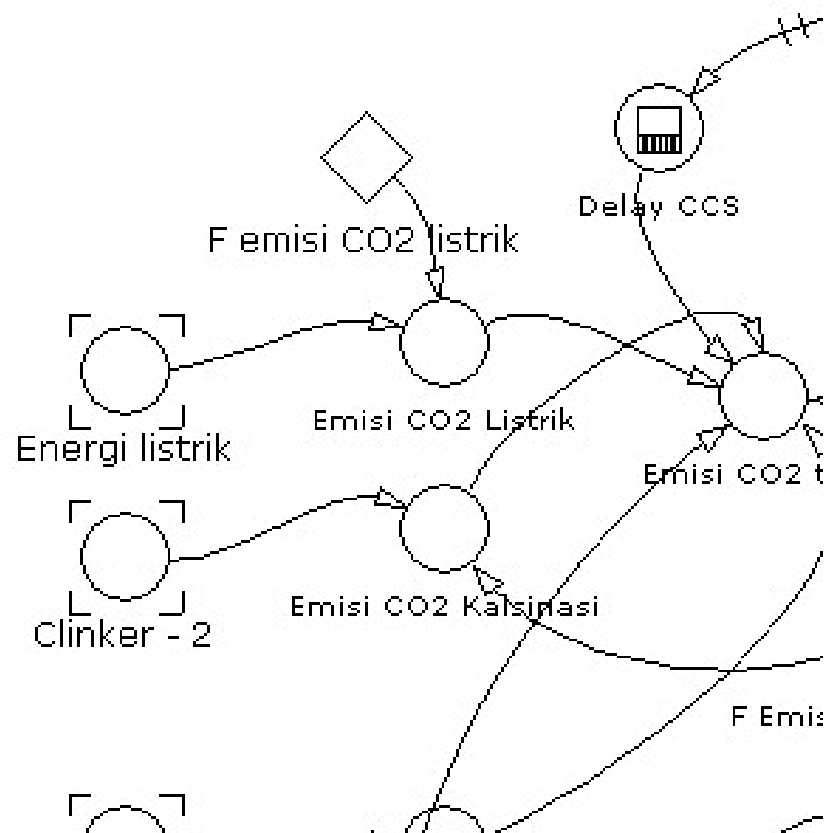
0;166;169;173;177;181;186;190;195;199;203;207;214;220;
 227;233;238;242;248;250;253;259;263;266;270;274;276;2
 83;287;293;298;300;300;300;300;300;300;300;300;300;30
 0//Min:20;Max:300//}<<%>>)

- $TSR = IF('Delay\ BBA'=0<<%>>;RDF;'Delay\ BBA')$

Model *Simulasi Stock Flow* diagram Emisi

Sub model ini merupakan submodel utama yang dipengaruhi oleh submodel sebelumnya, dimana seluruh emisi CO₂ yang berasal dari energi listrik, bahan bakar, kalsinasi dan bahan bakar alternatif pada proses pembuatan semen akan terakumulasi pada emisi CO₂ total. Submodel ini juga memasukan teknologi carbon capture storage (CSS) sebagai konstanta skenario berwarna coklat.

Berikut adalah gambar submodelnya.



Submodel stock flow diagram Emisi CO₂

Pada submodel emisi “emisi CO₂ total didapatkan dari gabungan seluruh emiter yaitu auxillary bahan bakar alternatif sebagai “BB alternatif” ditambah dengan emisi “Batu bara”, kalsinasi “ clinker-2” dan “energi listrik”, dengan satuan emisi spesifik sehingga perlu dibagi dengan jumlah “produksi semen” dengan persamaan :

- $$\text{Emisi CO}_2 \text{ total} = \frac{(\text{Emisi CO}_2 \text{ Kalsinasi} + \text{Emisi CO}_2 \text{ Listrik} + \text{Emisi CO}_2 \text{ TSR} + \text{Emisi CO}_2 \text{ batubara}) - ((\text{Emisi CO}_2 \text{ Kalsinasi} + \text{Emisi CO}_2 \text{ Listrik} + \text{Emisi CO}_2 \text{ TSR} + \text{Emisi CO}_2 \text{ batubara}) * \text{Delay CCS})}{\text{Produksi Semen}}$$

**Lampiran 5. DAFTAR RESPONDEN STAKE HOLDER INDUSTRI
SEMEN INDONESIA**

PID	PersonName	Location	Organization
0	Facilitator		
1	Combined		
2	Nurul Aulia	Bogor	PT SBI Nar
3	Ilya Susanto	Sulsel	PT ST
4	Galuh Almas	Bogor	PT Indocement
5	Della Devia	Bandung	B4T
6	Andi Heri Prasetio	Cilacap	PT SBI Cil
7	AlfaPetra M	Jakarta	PT SBI corp
8	Keumala Putri	Aceh	PT SBA (Semen Andalas)
9	Abdul Khalim	Purwokerto	PT Sinar Tambang Arthalestari (Semen Bima)
10	Barir Kurniawan	Tuban	PT. SBI Tuban
11	Sylvia Diah Ayu	Jakarta	PIH Kemenprein
12	Yulis Andriawan	Lampung	PT. Semen Baturaja
13	Saka Pradika	Karawang	PT JuiShin (Seman Garuda)
14	Sih Wuri Andayani	Bandung	B4T
15	Sofyan Adi	Sukabumi	PT. CG (semen merah putih)
16	Fausan Arif	Jakarta	Kemenperin IKFT
17	Mart Verdian Falka	Padang	PT SP (semen Padang)
18	Alfita Sofia	Maros	PT Semen Bosowa
19	Erda Cantia Ayunanda	Gresik	SIG Gresik
20	Ayunda Wahyuning	Cilegon	PT. Semen Jakarta
21	Achmad Taufik	Jakarta	BSIH Kemenperin
22	Prasetyadi Utomo	Jakarta	IGRK MPV KLHK