
PERMODELAN RISIKO BAHAYA KIMIA GUNA MENENTUKAN PENGENDALIAN BAHAYA KESEHATAN

Rizkiyah Nur Putri¹, M. Trifiananto¹
¹ Akademi Komunitas Semen Indonesia-Gresik
dosen.putri@gmail.com

Abstrak

Potensi bahaya yang ada pada perguruan tinggi dibawah naungan PT Semen Indonesia merupakan cerminan dari bahaya yang ada pada perusahaannya. Dengan konsep perguruan tinggi selokasi dengan perusahaan ini mengakibatkan bahaya tersebut diderita oleh civitas akademika. AKSI Gresik merupakan perguruan tinggi vokasi dengan memakaian fasilitas perusahaan terutama perbengkelan, memiliki potensi bahaya tertinggi adalah bahaya kimia. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan informasi dari *smart tools* yang mempermudah para civitas akademika mengetahui gangguan kesehatan yang berpotensi diderita dan memberikan masukan/rekomendasi pengendalian bahaya terhadap kondisi bahaya kimia yang meliputi bahaya sulfur dioksida, karbon monoksida, oksida nitrogren, debu, timah hitam, hidrogen sulfida, amonia dan carbon monozide. Pengendalian bahaya meliputi subsitusi/eleminasi bahaya, adanya masukan secara *engineering*, administrasi dan penggunaan APD yang tepat.

Metode yang digunakan ada kuantitatif dengan melakukan pengukuran pada bulan Maret – April 2019 pada gedung rektorat, gedung perkuliahan, bengkel mesin dan bengkel alat berat AKSI Gresik. Hasil pengukuran akan menjadi masukan untuk pembuatan *smart tools* dengan menggunakan Program java (NetBeans IDE 18.1. Penelitian ini menghasilkan aplikasi yang dapat dioperasikan pada *personal computer* yang menunjukkan adanya potensi bahaya debu sebagai nilai tertinggi dampak kimia. Gangguan yang diderita pada AKSI GRESIK berupa gangguan pernafasan dan pencernaan yang dihasilkan oleh bahaya debu. Keluaran dari perancangan *smart tools* adalah pengendalian bahaya yang ditawarkan oleh program *smart tools* hasil rancangan pada penelitian ini meliputi cara *engineering* dengan adanya sensor yang mampu mengeluarkan air, melakukan isolasi lokasi kerja tertentu hingga penggunaan masker respirator debu dengan filter khusus yang diganti setiap hari.

Kata Kunci: bahaya kimia, pengendalian bahaya, *smart tools*

MODEL OF CHEMICAL HAZARD RISK FOR DETERMINING HEALTH HAZARD CONTROL

Abstract

The potential dangers that exist in universities under the auspices of PT Semen Indonesia are a reflection of the dangers that exist in the company. With the concept of college location with this company, the danger is suffered by the academic community. AKSI Gresik is a vocational college using company facilities, especially workshop, has the highest potential hazard is chemical hazard. The purpose of this study is to produce information from smart tools that make it easier for academics to identify potential health problems and provide input / recommendations for hazard control against chemical hazard conditions including the danger of sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrous oxide, dust, lead, hydrogen sulfide ammonia and carbon monozide. Hazard control includes substitution / elimination of hazards, input from engineering, administration and PPE.

The method used is quantitative by measuring in March - April 2019 in the rector's building, lecture building, machine shop and heavy equipment workshop of AKSI GRESIK. The measurement results will be entered into the manufacture of smart tools by using the Java program (NetBeans IDE 18.1. This research produces applications that can be operated on personal computers that indicate the potential for dust hazards as the highest value of chemical impacts. Disturbances suffered in the AKSI GRESIK in the form of respiratory disorders and digestion generated by dust hazards The output of the design of smart tools is the control of hazards offered by the smart tools program designed in this study include engineering by the presence of sensors capable of removing water, isolating certain work sites to using dust respirator masks with special filters which is replaced every day.

Keyword: chemical hazards, hazard control, *smart tools*

Pendahuluan

Sejak tahun 2014 salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) berkomitmen dengan mendirikan perguruan tinggi. Berbekal yang kuat dibawah naungan yayasan pendidikan yakni Semen Indonesia foundation yang sebelumnya telah sukses dalam penyelenggaraan pendidikan dari usia dini (PAUD) hingga SMA/SMK, PT Semen Indonesia memiliki komitmen mendirikan 2 perguruan tinggi sekaligus yakni Universitas Internasional Semen Indonesia dan Akademi Komunitas Semen Indonesia. Kedua perguruan tinggi tersebut memiliki latar pendidikan yang berbeda yakni pendidikan sarjana dan pendidikan vokasi. Nama PT Semen Indonesia tidak lagi diragukan dengan memiliki fasilitas dan pusat pengembangan penelitian yang memadai hingga gedung-gedung yang dapat dijadikan untuk pendukung pendidikan.

Penelitian ini akan berfokus pada perguruan tinggi vokasi Semen Indonesia yakni AKSI Gresik. Lokasi dan fasilitas yang dimiliki oleh perusahaan penghasil semen ini menjadikan AKSI menjadi diminati oleh masyarakat. Selain itu juga didukung tim pengelola perguruan tinggi hingga tim pengajarnya yang mendapatkan

dukungan dari karyawan PT Semen Indonesia Grup.

Hanya saja keunggulan-keunggulan yang telah terpaparkan dengan baik tersebut tidak luput dari adanya potensi bahaya kesehatan yang ada pada perusahaan semen juga pastinya akan diderita juga oleh civitas akademika AKSI.

Pada beberapa penelitian sebelumnya mengatakan bahwa perusahaan semen patut mendapatkan perhatian yang cukup serius. Beberapa gangguan kesehatan yang mengancam pekerja pada setiap tahunnya seperti pada gangguan pernafasan akibat debu produksi semen, gangguan pencernaan, pendengaran hingga pada kulit yang dapat diderita hingga jangka panjang. Sumber bahaya utama pada perusahaan penghasil semen adalah pada proses produksi pembuatan semen (Meo, 2014; Cankaya, 2015; Pratama, 2014).

Hal ini diperkuat dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Putri, 2019) yang menyatakan bahwa hasil Identifikasi bahaya menghasilkan 23% kendala kesehatan berupa iritasi mata, 20% mengidam gangguan pernafasan menyebabkan karena debu yang dihasilkan baik pada proses maupun hasil produk semen.

Sehingga dengan dasar itulah penelitian ini dibuat untuk mengisi *gap* dari

penelitian sebelumnya yakni perancangan model tingkat bahaya kesehatan pada perguruan tinggi yang berlokasi di area pabrik semen dengan harapan dapat meminimalisir potensi bahaya kesehatan dengan penerapan rekomendasi yang diberikan. Bahaya kesehatan yang akan diteliti adalah potensi bahaya kimia sesuai dengan peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi tentang Nilai Ambang Batas (NAB) faktor fisika dan kimia di tempat kerja dan Peraturan Gubernur Jawa Timur tentang baku mutu ambien dan emisi sumber tidak bergerak di Jawa Timur.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan informasi dengan menghasilkan tampilan *smart tools* dari Program java (NetBeans IDE 18.1) yang meliputi sesuai atau tidaknya nilai beberapa parameter faktor kimia hasil pengukuran dengan Nilai Ambang Batas, dampak kesehatan akibat dari bahaya kimia, dan menghasilkan rekomendasi pengendalian

guna meminimalisir potensi bahaya kesehatan.

Tinjauan Teoritis

Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu pegendalian bahaya hanya melakukan pengendalian bahaya pada jenis gangguan secara umum saja pada aspek yang bermasalah. Seperti yang tertera pada penelitian (Shafik dan Mohsen, 2012), (Sana et al., 2013) dan (Cankaya, 2015). Sedangkan penelitian (Putri, 2019) hanya melakukan identifikasi bahaya dan penilaian risiko pada perguruan tinggi yang memiliki lokasi di area pabrik.

Pada penelitian ini akan menghasilkan informasi terkait bahaya kimia yang akan mengancam kesehatan para civitas akademika yang perguruan tingginya berlokasi di dalam pabrik yang menaunginya. Pada tabel 1 merupakan cermin *state of the art* penelitian ini

Tabel 1. *State of the art* Penelitian

Peneliti dan tahun	Ringkasan hasil	Keterkaitan dengan penelitian	Celah/gap dengan penelitian
(Shafik dan Mohsen, 2012)	Menampilkan dampak penyakit akibat kerja pada perusahaan semen dan sosialisasi sebagai pengendalian	1. identifikasi awal adanya potensi bahaya kesehatan pada perusahaan khususnya perusahaan semen	1. Tidak menyebutkan sumber bahaya
(Sana et all., 2013)	Menghasilkan kesimpulan bahwa 10% pekerja dari 3 perusahaan semen di India mengalami peningkatan gangguan kesehatan	2. Sebagai pedoman penentuan gangguan kesehatan untuk parameter yang ditetapkan pada penelitian usulan	2. Pengendalian bahaya hanya bersifat dasar/umum 3. Pengambilan data secara terukur (kuantitatif) dan akurat pada pengolahan data
(Cankaya, 2015)	Merupakan penelitian berisikan rivew bahaya keselamatan dan kesehatan pada industri semen yang dikhususkan pada proses manufakturnya	1. Sebagai panduan potensi bahaya pada lokasi yang berdekata dengan proses manufaktur 2. Sebagai pedoman penentuan parameter gangguan kesehatan 3. Pedoman dalam menentukan pengendalian bahaya	1. Penentuan standar paramater dengan NAB dihasilkan langsung dari desain smart tools fuzzy 2. Tools yang dirancang dapat digunakan untuk berbagai jenis perusahaan 3. Pengendalian bahaya didapatkan dari beberapa sumber literatur sesuai dengan hirarki pengendalian bahaya

Bahaya Kesehatan Kerja

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor Per.13/MEN/2011 Tahun 2011 menyatakan Nilai Ambang Batas merupakan standar faktor bahaya di tempat kerja sebagai kadar/intensitas rata-rata waktu yang diterima tenaga kerja tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan dengan

menjalankan pekerjaan dalam kurun waktu 8 jam atau 40 jam seminggu.

Faktor Kimia

Faktor kimia adalah faktor di dalam tempat kerja yang bersifat kimia. Faktor kimia terbagi menjadi dua yakni faktor kimia yang berwujud dan tidak berwujud. Adapun beberapa aspek faktor kimia yang secara terperinci dibahas oleh

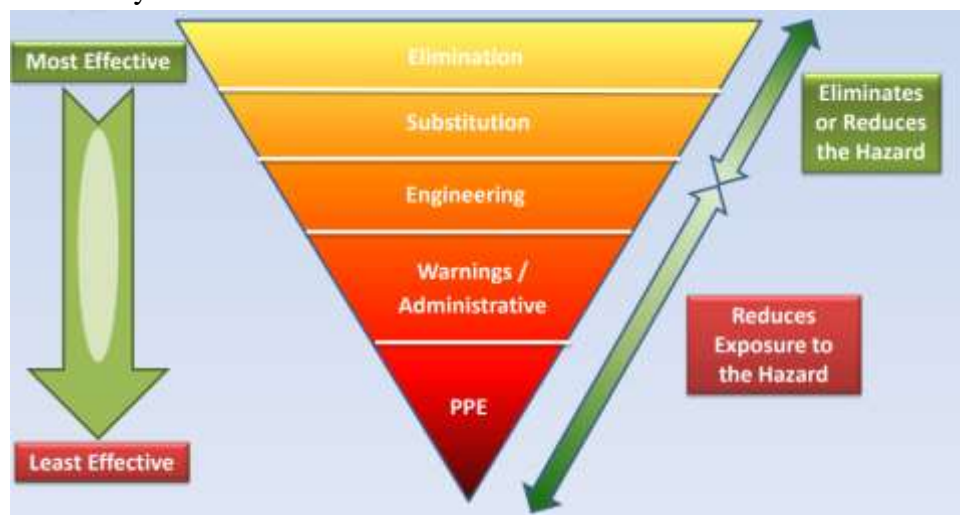
peraturan Gubernur Jawa Timur No 10 tentang Baku Mutu Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak. Pada tabel 2 akan dirincikan perihal NAB, alat ukur dan

penyakit yang ditimbulkan dari faktor kimia.

Tabel 3. Faktor Kimia

Parameter	NAB	Alat ukur	Penyakit yang ditimbulkan
Sulfur dioksida (SO ₂)	0,1 ppm (262 µg/Nm ³)	<ul style="list-style-type: none"> Spectro photometer SO₂ analyzer 	Gangguan pernafasan
Karbon monoksida	20,00 ppm (22,600 µg/Nm ³)	CO Analyzer	Gangguan pernafasan
Oksida Nitrogen (NO ₂)	0,05 ppm (92,5 µg/Nm ³)	<ul style="list-style-type: none"> Spectro photometer NO₂ analyzer 	Gangguan pernafasan
Debu	0,26 mg/Nm ³	Hi-Vol	Gangguan pernafasan
Timah hitam (Pb)	0,06 mg/Nm ³	<ul style="list-style-type: none"> Hi-Vol AAS 	Gangguan pernafasan, gangguan pencernaan
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0,03 ppm (42 µg/Nm ³)	Spectro photometer	Gangguan pernafasan
Amonia (NH ₃)	2,00 ppm (1360 µg/Nm ³)	Spectro photometer	Gangguan pernafasan, gangguan pencernaan
Carbon Monizide (CO)	25 ppm	Gas detector	Gangguan pernafasan

Pengendalian Bahaya



Gambar 2 Hirarki pengendalian bahaya

Sumber: ANSI Z10 tahun 2015

Pada gambar 2 di atas telah ditampilkan perihal pengendalian bahaya berdasarkan standar Amerika yakni ANSI Z10 pada tahun 2015. Standar tersebut menyatakan bahwa pengendalian bahaya terbaik adalah eliminasi atau peniadaan sumber bahaya. Berikutnya baru substitusi yang merupakan metode pengantian sumber bahaya dengan peralatan atau mesin yang memiliki bahaya lebih rendah. Dan berakhir dengan pengendalian bahaya terendah adalah penggunaan Alat Pelindung Diri (APD).

Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah secara kuantitatif dengan data yang dihasilkan dari pengukuran langsung. Berbeda dengan bahaya fisika yang dapat dilakukan pada 2 waktu, pada bahaya kimia dikarenakan besarnya biaya pengukurannya maka dilakukan pengukuran 1 kali yakni pada 24 Juni 2019 pukul 10.00. Pukul 10.00 ditentukan dengan pertimbangan tepat pekerjaan tengah berlangsung.

Pengukuran aspek bahaya kimia dilakukan pada beberapa lokasi yakni :

1. Lokasi ditengah-tengah antara gedung rektorat dan gedung perkuliahan yang merupakan tempat berlalu lalang para civitas akademika dan tempat mahasiswa berkumpul selesai perkuliahan

2. Lokasi di tengah-tengah antara bengkel mesin dan bengkel alat berat dikarenakan kedua bengkel tersebut berdekatan. Keduanya berlokasi terpaut 3-5 meter dari tempat penyimpanan bahan baku semen.

Pengukuran dilakukan untuk 1 kali pengukuran dengan menggunakan alat ukur pengukuran udara ambien yang akan menghasilkan beberapa aspek yakni Nitrogen Dioxide (NO₂), Sulfur Dioxide (SO₂), Amonia (NH₃), Hydrogen Sulfida (H₂S), Dust Particulate, Carbon Monoxide (CO), Oxidant (O₃), dan Lead (Pb).

Hasil pengukuran tersebut akan menjadi *input*-an untuk aplikasi *smart tools* yang akan menghasilkan kesesuaian hasil jika dibandingkan dengan NAB, gangguan kesehatan yang akan diderita dan pastinya pengendalian bahaya kimia guna meminimalisir perjadinya gangguan pernafasan yang dapat mengakibatkan gangguan lanjutan ke organ lainnya dalam tubuh.

Hasil

Hasil dari pengukuran udara ambien menghasilkan data seperti pada tabel 1 untuk 2 titik pengukuran yakni

1. Gedung perkantoran yang meliputi gedung rektorat dan gedung perkuliahan
2. Bengkel yang meliputi bengkel mesin dan bengkel alat berat

Tabel 1. Hasil pengukuran faktor kima

Hasil Pengukuran	Gedung rektorat dan gedung perkuliahan	Bengkel mesin dan bengkel alat berat
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	29,98	52,78
Sulfur Dioxide (SO ₂),	< 0,05	17,72
Amonia (NH ₃),	16,5	78,67
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	< 0,004	2,45
Dust Particulate	95,25	275
Hydrocarbon (HC)	5,03	11,54
Carbon Monoxide (CO)	195,30	369,88
Oxidant (O ₃)	< 0,025	1,32
Lead (Pb)	< 0, 00005	<0, 00005

Dari hasil pengukuran pada tabel 1 dapat diketahui bahwa kandungan beberapa aspek kimia muncul walaupun menunjukkan hasil dibawah Nilai Ambang Batas. Kecuali pada kandungan debu di area bengkel mesin dan bengkel alat berat yang lokasinya memang terbilang dekat dengan bahan baku semen.

Selanjutnya hasil tersebut akan menjadi *input*-an untuk pengujian aplikasi yang dirancang dengan menggunakan java (NetBeans IDE 18.1).

Pemodelan

Permodelan dibuat untuk mempermudah dalam menentukan racangan *smart tools* dengan berisi beberapa simulasi/skenario yang dibentuk dari 9 aspek bahaya kimia. Adapun 9 parameter yang ditentukan terlebih dahulu variable nya sebagai berikut :

Nitrogen Dioxide = NO

Sulfur Dioxide = SO

Amonia = NH

Hydrogen Sulfida = HS

Dust Particulate = D

Hydrocarbon = HC

Carbon Monoxide = CO

Oxidant = O

Lead = Pb

Skenario yang akan dilakukan pada model bahaya kimia ini meliputi:

1. Apabila ke-9 parameter bahaya kimia menghasilkan nilai yang sesuai dengan NAB, maka penggunaan APD masker standar yang wajib dipakai
2. Apabila salah satu aspek memiliki hasil tidak sesuai dengan NAB, maka pengendalian substitusi/eliminasi, *engineering*, administrasi dan penggunaan APD berupa masker respirator yang digunakan
3. Apabila 2 aspek bahaya kimia yang tidak sesuai dengan nilai NAB.

Pada skenario ini hanya berhenti pada 2 aspek yang tidak sesuai dikarenakan ini merupakan bahaya yang mengakibatkan pencemaran lingkungan jadi rekomendasi yang diberikan memiliki kesamaan untuk beberapa aspek.

Berikut adalah permodelannya :

$$\text{NO} \leq 92,5$$

$$\text{SO} \leq 262$$

$$\text{NH} \leq 1360$$

$$\text{HS} \leq 42$$

$$\text{D} \leq 260$$

$$\text{HC} \leq 160$$

$$\text{CO} \leq 2260$$

$$\text{O} \leq 200$$

$$\text{Pb} \leq 60$$

$$\begin{aligned} &\text{Maka total maksimal untuk bahaya kimia} \\ &\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} \\ &+ \text{Pb} \leq 4696,5 \end{aligned} \quad (1)$$

Pada persamaan pertama walaupun semua aspek nilainya dianggap aman karena dibawah NAB, tetap pekerja dihimbau untuk memakai APD berupa masker standar.

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{NO} > 92,5 \quad (2)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{SO} > 262 \quad (3)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{NH} > 1360 \quad (4)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{HS} > 42 \quad (5)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{D} > 260 \quad (6)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{HC} > 160 \quad (7)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{CO} > 2260 \quad (8)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{O} > 200 \quad (9)$$

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan } \text{Pb} > 60 \quad (10)$$

Pada persamaan (2) hingga (10) merupakan kondisi dimana salah satu dari 9 aspek bahaya kimia ini berdasarkan hasil pengukuran didapatkan hasil melebihi dari nilai NAB sehingga pengendalian bahaya tidak cukup dengan pemakaian APD tetapi pengendalian substitusi/eliminasi, *engineering*, atau administrasi perlu ditambahkan.

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + SO > 354,5$

(11)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + NH > 1452,5$

(12)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + HS > 134,5$

(13)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + D > 352,5$

(14)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + HC > 252,5$

(15)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + CO > 2352,5$

(16)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + O > 292,5$

(17)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NO + Pb > 152,5$

(18)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + NH > 1622$

(19)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + HS > 304$

(20)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + D > 522$

(21)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + HC > 422$

(22)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + CO > 2522$

(23)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + O > 462$

(24)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $SO + Pb > 322$

(25)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + HS > 1402$

(26)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + D > 1620$

(27)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + HC > 1520$

(28)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + CO > 3620$

(29)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + O > 1560$

(30)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $NH + Pb > 1420$

(31)

$NO + SO + NH + HS + D + HC + CO + O$
 $+ Pb > 4696,5$ dengan $HS + D > 302$

(32)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HS} + \text{HC} > 202$$

(33)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HS} + \text{CO} > 2302$$

(34)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HS} + \text{O} > 242$$

(35)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HS} + \text{Pb} > 102$$

(36)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan D} + \text{HC} > 420$$

(37)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan D} + \text{CO} > 2520$$

(38)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan D} + \text{O} > 460$$

(39)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan D} + \text{Pb} > 320$$

(40)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HC} + \text{CO} > 2420$$

(41)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HC} + \text{O} > 360$$

(41)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan HC} + \text{Pb} > 220$$

(42)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan CO} + \text{O} > 2460$$

(43)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan CO} + \text{Pb} > 2320$$

(44)

$$\text{NO} + \text{SO} + \text{NH} + \text{HS} + \text{D} + \text{HC} + \text{CO} + \text{O} + \text{Pb} > 4696,5 \text{ dengan O} + \text{Pb} > 260$$

(45)

Persamaan (11) hingga persamaan (45) merupakan kombinasi jika kondisi pengukuran menghasilkan nilai ukur yang tidak sesuai adalah 2 dari 9 aspek bahaya kimia. Maka ada beberapa kondisi yang harus diputuskan dalam menentukan pengendalian bahaya dari mulai substitusi, *engineering*, administratif hingga pada pemilihan APD yang sesuai. Sebagai contoh persamaan (39) dimana hasil pengukuran menghasilkan nilai Dust particulant dan lead memiliki nilai diatas NAB.

Penentuan (45) persamaan di atas untuk mempermudah pembuatan program aplikasi *smart tools*. Tahap berikutnya adalah membuat ringkasan *output* an dari masing-masing persamaan sebagai berikut:

1. Sesuai atau tidaknya nilai hasil pengukuran dengan nilai NAB seperti pada tabel 1
2. Gangguan kesehatan yang akan diderita jika kondisi pengukuran melebihi NAB seperti pada tabel 2

3. Rekomendasi pengendalian bahaya administrasi atau penggunaan APD apa yang disarankan meliputi yang disarankan seperti pada tabel 3. :substitusi/eliminasi, *engineering*,

Tabel 2. Gangguan kesehatan bahaya kimia

Parameter	Gangguan kesehatan	Sumber referensi
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	Gangguan saraf hingga terjadi kejang-kejang, kematian pada manusia, hewan maupun tumbuhan	(Aprowati dan Krisnandoro, 2017)
Sulfur Dioxide (SO ₂),	menyebabkan iritasi sistem pernapasan bahkan dapat mengakibatkan kematian	(Hamzah., dkk, 2017)
Amonia (NH ₃),	Pencemaran lingkungan, gangguang pernafasan (batuk dan iritasi pada sistem pernafasan) hingga kematian	(Siswati dan Suyono, 2016)
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	Gangguan pernafasan (batuk, asma dan sesak nafas)	(Anwar.,dkk, 2015)
Dust Particulate	gangguan fungsi paru, penyakit paru obstruktif kronik, penyakit paru restriktif, pneumokoniosis dan karsinoma paru, lambung dan usus besar	(Shafik dn El-Mohsen, 2012)
Hydrocarbon (HC)	Leukimia dan kanker pernafasan	(Dartanto, 2005)
Carbon Monoxide (CO)	Dapat membahayakan pada ibu hamil khususnya untuk janin yang bisa turun berat badannya hingga kematian pada bayi akibat kerusakan otak	(Dartanto, 2005)
Oxidant (O ₃)	Penurunan kekebalan tubuh, penyakit paru-paru kronis	(Dartanto, 2005)
Lead (Pb)	Gangguan sintesi darah merah, anemia, hingga terjadinya penurunan intelegensia yang terjadi pada anak, gangguan pada janin, nyeri otot, gangguan tidur, gangguan pencernaan, gangguan sistem saraf, infertilitas	(Naria, 2005), Gusnita (2012)

Tabel 3. Rekomendasi pengendalian bahaya kimia

Parameter	Pengendalian Bahaya				Sumber referensi
	Substitusi	Eliminasi	engineering	Administrasi	
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	Penggantian emisi gas buang industri dengan cara : - Mengganti jenis bahan bakar - Penggunaan <i>wet scrubber</i> dan oksigen murni		Optimilisasi suhu dan tekanan dalam proses pembakaran	Mengurangi waktu paparan	Chemical Catrige Respiratory , Gas Mask, Self Consumed Breathing Apparatus (SCBA) (Arista, dkk., 2015), (Aprowati dan Krisnandoro, 2017)
Sulfur Dioxide (SO ₂),			- Melakukan perawatan mesin kendaraan - Memasang filter knalpot - Memasang scrubber pada cerobong asap	Mengurangi waktu paparan	Chemical Catrige Respiratory , Gas Mask, Self Consumed Breathing Apparatus (SCBA) - (Arista, dkk., 2015), - (Aprowati dan Krisnandoro, 2017), - (Hamzah., dkk, 2017)
Amonia (NH ₃),			- Wireless sensor system - Sensor uap amoniak		Chemical Catrige Respiratory , Gas Mask, Self Consumed Breathing Apparatus (SCBA) - (Siswati dan Suyono, 2016) - (Maddu., dkk, 2012)
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)			- Menggunakan alat pendeteksi gas H ₂ S seperti alarm atau sirine	- Mengurangi waktu paparan - Adanya prosedur kerja melakukan pekerjaan pertambangan - Pemeriksaan kesehatan awal - Pelatihan pekerja	Chemical Catrige Respiratory , Gas Mask, Self Consumed Breathing Apparatus (SCBA) (Anwar., dkk, 2015)
Dust Particulate				- Pelatihan kepada karyawan - Mengurangi waktu paparan	coveralls, gloves, dust masks, ear plugs, and (Manjula., dkk, 2013)

				safety shoes	
Hydrocarbon (HC)	Penggantian bahan bakar yang ramah lingkungan	Teknologi penanggulangan emisi kendaraan	- Pelatihan kepada karyawan - Mengurangi waktu paparan	coveralls, gloves, dust masks, ear plugs, and safety shoes	(Dartanto, 2005)
Carbon Monoxide (CO)	- Penggunaan bahan katalis dengan mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbondioksida - Mengubah bahan bakar terbarukan	- Teknologi penanggulangan emisi kendaraan	- Pelatihan kepada karyawan - Mengurangi waktu paparan	coveralls, gloves, dust masks, ear plugs, and safety shoes	(Dartanto, 2005)
Oxidant (O ₃)			- Pelatihan kepada karyawan - Mengurangi waktu paparan	coveralls, gloves, dust masks, ear plugs, and safety shoes	(Dartanto, 2005)
Lead (Pb)		Menghapuskan kandungan Pb dalam bensin kendaraan			(Gusnita, 2012)

Smart Tools dengan Program java (NetBeans IDE 18.1)

Setelah menghasilkan skenario persamaan (45) dan didukung dengan *output*-an dari gangguan kesehatan dan pengendalian bahaya pada tabel 2 dan tabel 3, maka kemudian dilakukan perancangan program aplikasi *smart tools* dengan menggunakan Program java (NetBeans IDE 18.1).

Pada gambar 1 dapat diketahui aplikasi yang telah dibuat pengguna hanya

melakukan pemasukan data hasil pengukuran dari masing-masing aspek bahaya kimia. Maka keluaran yang dimunculkan adalah :

1. Sesuai atau tidak hasil pengukuran jika dibandingkan dengan NAB
2. Gangguan kesehatan
3. Pengendalian bahaya yang menyesuaikan bahayanya yakni substitusi, eliminasi, *engineering*, administrasi dan pemakaian APD.

Hasil pengujian program tersebut dapat dilihat pada gambar 2 contoh inputan data pada bengkel

Parameter	Hasil Pengukuran	NAB	Sejua/Tidak	Jenis Tempat Kerja
Nitrogen dioksida	<input type="text"/>	92,5	<input type="text"/>	PWH
Sulfur dioksida	<input type="text"/>	262	<input type="text"/>	
Amoniak	<input type="text"/>	1.300	<input type="text"/>	
Hydrogen Sulfida	<input type="text"/>	42	<input type="text"/>	
Dust	<input type="text"/>	260	<input type="text"/>	
Hydrocarbon	<input type="text"/>	260	<input type="text"/>	
Carbon Monoxide	<input type="text"/>	2.300	<input type="text"/>	
Oxidant	<input type="text"/>	200	<input type="text"/>	
Lead	<input type="text"/>	60	<input type="text"/>	

Hasil

Gangguan Kesehatan:

Pengendalian Bahaya:

Substitusi Eliminasi Engineering Administrasi APD

Proses

Gambar 1. Tampilan aplikasi *smart tools*

Parameter	Hasil Pengukuran	NAB	Sesuai/Tidak	Jenis Tempat Kerja
Nitrogen Dioxide	52.78	92.5	Sesuai	Pilih
Sulfur Dioxide	27.72	262	Sesuai	
Ammonia	78.67	1360	Sesuai	
Hydrogen Sulfide	2.45	40	Sesuai	
Oksid	275	200	Tidak Sesuai	
Hydrocarbon	11.54	160	Sesuai	
Carbon Monoxide	369.88	2350	Sesuai	
Oksidant	1.32	200	Sesuai	
Lead	0.00005	50	Sesuai	

Hasil

Gangguan Kesehatan: gangguan pernapasan dalam jangka waktu pendek/r
iritasi pada mata, gangguan kulit apabila kondi-

Pengendalian Bahaya: Engineering : penempatan bahan baku dengan pencahayaan berkala untuk jalanan umum se
perencanaan aspek debu penulisan obyek & mafa-

Substitusi Eliminasi Engineering Administratif APO

Proses

Gambar 2. Hasil *Input*-an bahaya kimia pada bengkel

Pembahasan

Paparan debu yang terdapat pada perusahaan penghasil semen jelas mempengaruhi kesehatan para pekerjanya. Paparan debu yang berasal dari semua lini proses manufaktur menyebabkan penurunan tingkat kesehatan para pekerja khususnya pada organ pernafasan Paparan debu yang merupakan bagian dari bahaya faktor kimia ini akan terus dilakukan pengukuran dan analisa terus menerus oleh para *Health Safety Enviroment (HSE) engineer* hingga dapat menekan risiko bahaya (Manjula, dkk, 2013).

Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pada penelitian ini dimana dari 9

(sembilan) bahaya faktor kimia yang telah dilakukan pengukuran dan analisa didapatkan bahaya debu yang menghasilkan pengukuran di atas Nilai Ambang Batas (NAB)

Sehingga dengan adanya penelitian ini akan dapat membantu pada *HSE Engineer* untuk melakukan penilaian dan mengambil keputusan dalam melakukan rekomendasi penekanan tingkat risiko bahaya pada perusahaan atau pada perguruan tinggi berlokasi di area pabrik.

Kesimpulan

Penelitian ini telah sukses melakukan perancangan permodelan bahaya kimia berupa informasi secara langsung pada *smart tools smart tools* hasil Program java (NetBeans IDE 18.1) yakni: sesuai atau tidaknya nilai beberapa parameter faktor fisika hasil pengukuran dengan Nilai Ambang Batas, dampak kesehatan yang akan ditimbulkan, menghasilkan rekomendasi pengendalian guna meminimalisir potensi bahaya kesehatan.

Perancangan model yang telah diujikan dengan data yang telah ada pada perguruan tinggi AKSI Gresik terutama pada bahaya kimia meliputi adanya bahaya kimia tertinggi pada perguruan tinggi naungan pabrik semen adalah pada *Dust Particulate*. Lokasi perbengkelan mengalami hasil pengukuran *Dust Particulate* tertinggi dibandingkan ruangan perkantoran, maka harus segera dilakukan pengendalian. Oleh karena potensi gangguan kesehatan yang akan diderita pada civitas akademika AKSI adalah gangguan pernafasan dan gangguan pencernaan.

Pengendalian bahaya yang ditawarkan oleh program *smart tools* hasil rancangan pada penelitian ini meliputi cara *engineering* dengan adanya sensor debu yang dapat memberikan indikasi

kandungan debu berlebih yang mampu mengeluarkan air, melakukan isolasi lokasi kerja tertentu hingga penggunaan APD berupa masker respirator debu dengan filter khusus yang diganti setiap hari.

Saran

Perancangan permodelan ini dapat lebih dilakukan lebih sempurna dengan adanya kemungkinan apabila ada data dengan ketidaksesuaian NAB sebanyak lebih dari 2 potensi bahaya kimia, sehingga adanya kemungkinan pengendalian bahaya yang lebih spesifik.

Selain itu penambahan referensi terkait pemberian hasil *output* pengendalian bahaya pada *smart tools* juga dapat lebih disempurnakan melalui penelitian lain dengan kondisi tertentu.

Ucapan Terima Kasih*

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian tahun 2019 yang telah diberikan demi terselenggaranya hingga proses penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Apriawati, E. and Kiswandono, A.A., 2017. Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) Nitrogen Dioksida (NO₂) Di Tiga Lokasi Kota Bandar

- Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 2(1).
- Anwar, K., Ma'rud, I., Prahastuti, A. 2015. Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko dan Pengendalian Risiko pada Pekerjaan Tambang Belerang (Studi pada Pekerja Tambang Belerang di Taman Wisata Alam Kawah Ijen). Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa. BKK Kerja. semanticscholar.org
- Arista, G., Sunarsih, E. and Mutahar, R., 2015. Analisis Risiko Kesehatan Paparan Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) pada Pedagang Kaki Lima di Terminal Ampera Palembang Tahun 2015. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 6(2).
- Çankaya, S., & Çankaya, S. 2015. Occupational Health and Safety in Cement Industry. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 9(1000011), 243-250.
- Dartanto, T., 2005. BBM, kebijakan energi, subsidi, dan kemiskinan di Indonesia. *Jurnal Inovasi*, 5, pp.3-10.
- Hamzah, A., Sefiani, A. and Waruwu, E.S. 2017. Pengukuran Kadar So₂ Di Jalan Depan Parkiran Fakultas Pertanian Ipb Dengan Metode Pararosanilin Menggunakan Spektrofotometer Measurement So₂ Levels In Front Street.
- Maddu, A., Sardy, S., Arif, A. and Zain, H., 2012. Pengembangan Sensor Uap Amonia Berbasis Serat Optik Dengan Cladding Termodifikasi Nanoserat Polianilin. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*, 4(3).
- Manjula, R., Praveena, R., Clevin, R.R., Ghattargi, C.H., Dorle, A.S. and Lalitha, D.H., 2013. Effects of occupational dust exposure on the health status of portland cement factory workers. *International Journal of Medicine and Public Health*, 3(3)
- Meo, S. A. 2014. Health hazards of cement dust. *Saudi medical journal*, 25(9), 1153-1159.
- Naria, E., 2005. Mewaspada dampak bahan pencemar timbal (Pb) di lingkungan terhadap kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*. Vol 17(4)
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011. 2011. Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja

- Pratama, S. E., & Panjaitan, T. W. 2014. Penyusunan Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control pada Perusahaan Pipa Baja. SNTI UK. Petra Surabaya, pp. 192-195.
- Putri, R.N. and Trifiananto, M., 2018. Analisis Tingkat Pencahayaan Di Akademi Komunitas Semen Indonesia–Gresik. *Jurnal Tecnoscienza*, 2(2), pp.67-82.
- Putri, R.N. and Trifiananto, M., 2019. Analisa Hazard Identification Risk Assessment And Risk Control (HIRARC) Pada Perguruan Tinggi Yang Berlokasi Di Pabrik. Seminar dan Konferensi Nasional IDEC.
- Shafik, S. A., & El-Mohsen, A. S. A. 2012. Occupational health: Health promotion program to improve health workers in Tourah Cement Factory. *Journal of American Science*, 8(3), 486-96.
- Wireless Sensor System untuk Pemantauan Kadar Gas Amonia (Nh3) Menggunakan Algoritma Berbasis Aturan. *Youngster Physics Journal*, 5(2), pp.59-68.
- Sahar, Ahmed. dan El-Mohsen Salah. 2012. Occupational health: Health Promotion Program to Improve Health Workers in Tourah Cement Factory. *Journal of American Science*, 8(3).
- Sana, S., Bhat, G. A., & Balkhi, H. M. 2013. Health risks associated with workers in cement factories. *International journal of scientific and research publications*, 3(5), 1-5.