

# FAKTOR RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN MASYARAKAT SEKITAR PABRIK GULA REJO AGUNG BARU MADIUN

## *Environmental Health Risk Factor in the Community Around of Rejo Agung Baru Sugar Factory Madiun*

Inta Hestya dan Corie Indria Prasati

Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat

Universitas Airlangga

Email: ihestya@gmail.com

**Abstrak:** Emisi partikel debu berupa *bagasse* dan arang ke udara dalam proses produksi gula merupakan salah satu pencemaran terhadap lingkungan yang perlu diwaspadai. Bahan pencemar ini bisa masuk ke dalam rumah melalui ventilasi maupun pintu yang terbuka. Tujuan penelitian ini untuk mendeskripsikan faktor risiko kesehatan lingkungan kaitannya dengan besarnya risiko pajanan  $PM_{2,5}$ , perilaku masyarakat dan kondisi rumah. Penelitian ini bersifat deskriptif dengan desain *cross sectional* dan jumlah sampel 14 orang ibu rumah tangga. Data yang dikumpulkan adalah kadar  $PM_{2,5}$  dalam ruangan yang kemudian dianalisis dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), berat badan, perilaku responden dan kondisi rumah. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 3 orang responden mempunyai risiko tidak aman terhadap pajanan  $PM_{2,5}$  untuk berat badan dan konsentrasi yang ada dengan lama berada di rumah 24 jam/hari dan pajanan 350 hari/tahun selama 30 tahun kedepan. Faktor risiko dari perilaku yang berkaitan yaitu kebiasaan merokok anggota keluarga dan penggunaan obat nyamuk bakar, sedangkan faktor lingkungan (kondisi rumah) yaitu suhu, kelembapan dan jarak rumah dari pabrik gula. Sehingga dapat disimpulkan responden yang mempunyai risiko tidak aman terhadap pajanan  $PM_{2,5}$  adalah responden dengan jarak rumah < 300 meter, mempunyai anggota keluarga yang merokok, menggunakan obat nyamuk bakar dan suhu serta kelembapan tidak memenuhi syarat. Diperlukan peningkatan kesadaran anggota keluarga responden untuk tidak merokok di dalam rumah, tidak menggunakan obat nyamuk bakar dan memaksimalkan fungsi ventilasi yang ada.

**Kata kunci:** Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL),  $PM_{2,5}$ , perilaku masyarakat, kondisi rumah, pabrik gula

**Abstract:** Emissions of dust particles (*bagasse* and charcoal) into the air by a sugar factory in the production was pollution to the environment that need to be watched. These pollutants materials get into the house through vents or open doors. The purpose of this research was to describe the risk factor of environmental health relation to the amount of risk exposure  $PM_{2,5}$ , the community behaviour and home condition. This research is descriptive research with cross sectional design and the number of samples 14 housewife. Data was collected is  $PM_{2,5}$  levels in a room (analyzed with environmental health risk assessment), weight, behavior of respondents and the condition of the house. The results showed there were 3 people respondents at risk of unsafe exposure to  $PM_{2,5}$  weight and concentration by long in the home 24 hours/day and exposure of 350 days/year for 30 years. Risk factors of behavior related to the habit of smoking family members and the use of insect repellent fuel, while environmental factors (condition of the house) was temperature, humidity and the distance of the house from the sugar factory. Concluded that the respondents have a risk of unsafe exposure to  $PM_{2,5}$  was the respondent with a distance of home < 300 meters, have family members who smoke, use insect repellent and fuel temperature and humidity were not eligible. Required increased awareness of family members of the respondents not to smoke in the house, do not use insect repellent and maximize existing ventilation function.

**Keywords:** Environmental Health Risk Assessment,  $PM_{2,5}$ , behavior community, home condition, sugar factory

## PENDAHULUAN

Jawa Timur merupakan penghasil gula terbesar di Indonesia. Selain itu Jawa Timur memiliki jumlah Pabrik Gula (PG) terbanyak, yaitu 33 PG dengan total kapasitas produksi sebesar 883 ribu ton per tahun. Adanya kebijakan penolakan impor gula rafinasi oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur menyebabkan industri

gula merupakan industri yang potensial untuk dikembangkan (Sugiyanto, C.2007).

Pabrik Gula Rejo Agung Baru Madiun adalah pabrik gula yang terletak di Kelurahan Patihan Kecamatan Manguharjo Kota Madiun dan dikelilingi oleh pemukiman padat penduduk. PG Rejo Agung Baru saat ini tercatat sebagai pabrik gula terbesar kedua di Jawa Timur setelah PG

Jatiroto. Kapasitas produksi pabrik tahun 2007 adalah 5000 ton tebu/hari dengan produk gula bermutu *Super High Sugar* (SHS). PG Rejo Agung Baru Madiun memproduksi gula secara terus-menerus selama 24 jam.

Proses produksi gula secara umum yaitu tebu melewati stasiun penggilingan (*milling station*), stasiun pemurnian (*purification station*), stasiun penguapan (*evaporation station*) dan stasiun kristalisasi, puteran dan penyelesaian (*cystallyzation & finish station*).

Proses produksi gula tidak terlepas dari limbah (*waste*) dan produk samping (*by-product*) yang dihasilkan selama proses berjalan. Limbah yang dihasilkan pabrik gula merupakan limbah yang didominasi oleh bahan organik, walaupun tidak menutup kemungkinan menghasilkan limbah anorganik (persentasenya kecil). Jenis limbah yang dihasilkan pada produksi gula ini berupa limbah cair, limbah padat, limbah udara, dan limbah B3.

Walaupun menghasilkan limbah padat, cair, udara, dan B3, masalah lingkungan utama yang dihadapi pabrik gula adalah yang berkaitan dengan limbah udara dan limbah padat. *Bagasse* yang merupakan limbah padat yang dihasilkan pada unit penggilingan tebu atau dikenal pula sebagai ampas tebu. *Bagasse* biasanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada unit pengadaaan uap (ketel) di pabrik gula. *Bagasse* yang dibakar di dalam ketel akan menghasilkan abu yang disebut abu ketel atau abu *bagasse*. Abu *bagasse* yang keluar dari ketel dibedakan menjadi dua macam, yaitu: abu terbang (*Bagasse Fly Ash = BFA*) yang keluar lewat bagian atas cerobong dan abu dasar yang keluar lewat bagian bawah ketel (*Bagasse Bottom Ash = BBA*). Apabila abu *bagasse* tersebut banyak menumpuk di areal pabrik gula, hal ini dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, terutama sebagai penyebab pencemaran udara karena debu.

Berdasarkan diameter erodinamikanya, debu partikulat dibedakan menjadi  $PM_{10}$  (*coarse particulate matter*),  $PM_{2,5}$  (*fine particulate matter*), dan  $PM_{0,1}$  (*ultrafine particulate matter*). Klasifikasi ukuran diameter aerodinamik debu ini berhubungan dengan dampak kesehatan yang timbul jika partikel tersebut masuk ke dalam tubuh. Semakin kecil ukuran partikel debu partikulat yang terhirup, maka akan dapat masuk ke dalam paru semakin dalam hingga ke jaringan (Fierro, 2000).

Sekitar 50–60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10  $\mu m$  atau dikenal

dengan  $PM_{10}$ . Debu  $PM_{10}$  ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru sehingga akan mengganggu sistem pernapasan bagian atas maupun bagian bawah (alveoli). Selain  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  juga akan mengganggu sistem pernapasan karena mengendap di alveoli dan terutama mengakibatkan pneumokoniosis.  $PM_{2,5}$  di luar ruangan berasal dari segala jenis kendaraan bermotor seperti motor, mobil, truk, bus, kereta api, peralatan konstruksi, dan penggunaan bahan bakar seperti kayu, batubara, minyak, dan kebakaran hutan. Debu  $PM_{2,5}$  juga terbentuk dari reaksi kimia gas di udara. Reaksi kimia ini dapat terjadi beribu mil jauhnya dari sumber emisi. Hal ini disebabkan, debu  $PM_{2,5}$  dapat terbawa jauh dari sumber emisinya. Sumber debu  $PM_{2,5}$  di dalam ruangan berasal dari asap rokok, lilin atau lampu minyak, tungku pembakaran, dan perapian Partikel yang mempunyai diameter antara 0,1–1 mikron terutama merupakan produk-produk pembakaran dan aerosol fotokimia. Partikel yang mempunyai diameter kurang dari 0,1 mikron belum diidentifikasi secara kimia, tetapi diduga berasal dari sumber-sumber pembakaran (Fierro, 2000).

Klasifikasi ukuran diameter aerodinamik debu ini berhubungan dengan dampak kesehatan yang timbul jika partikel tersebut masuk ke dalam tubuh. Semakin kecil ukuran partikel debu partikulat yang terhirup, maka akan dapat masuk ke dalam paru semakin dalam hingga ke jaringan. Berdasarkan sumbernya, debu partikulat dibedakan menjadi dua, yaitu partikel primer adalah emisi bahan yang berasal dari alam atau manusia secara langsung dan partikel sekunder berasal dari emisi bahan kimia dari alam atau manusia yang berinteraksi dengan bahan kimia lainnya di atmosfer dengan bantuan sinar matahari.

Kelurahan Patihan Kota Madiun adalah salah satu kelurahan di sekitar kawasan PG Rejo Agung Baru yang merupakan pabrik gula dengan kapasitas produksi terbesar kedua di Jawa Timur. Semakin besar kapasitas produksi tentunya akan semakin besar pula jumlah limbah yang dihasilkan. PG Rejo Agung Baru menerapkan teknologi yang baik untuk pengendalian pencemaran udara seperti penggunaan *Mechanical Dust Collector* dan penghijauan di sekitar area pabrik.

Pemantauan kualitas udara emisi dan udara ambien juga dilakukan secara teratur. Hasil pemantauan kualitas udara ambien oleh PG Rejo Agung Baru pada tahun 2013 diketahui kadar partikulat masih di bawah baku mutu Peraturan

Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur karena pengukuran kualitas udara ambien hanya dilakukan sebelum dan sesudah masa giling sehingga sumber pencemar hanya berasal dari lalu lintas kendaraan dan aktivitas lain di sekitar tempat pemantauan.

Hasil uji emisi masing-masing cerobong saat giling menunjukkan total partikulat pada cerobong Cheng chen sebesar 222 mg/Nm<sup>3</sup>, cerobong Yoshimine sebesar 225 mg/Nm<sup>3</sup> dan cerobong Babcock sebesar 222 mg/Nm<sup>3</sup> hampir mendekati baku mutu yang ditetapkan yaitu 250 mg/Nm<sup>3</sup>.

Meskipun kualitas udara ambien dan emisi masih memenuhi baku mutu, dari hasil wawancara kepada petugas kesehatan dan beberapa warga diketahui adanya keberadaan debu yang cukup banyak pada waktu musim giling. Debu ini berupa abu ketel (*langes*) yang mempunyai sifat berserat dan mudah hancur serta debu lembut yang berasal dari *bagasse* (ampas tebu). Debu tersebut beterbangan di luar rumah warga dan banyak masuk ke dalam rumah warga sehingga menyebabkan kondisi rumah dan pakaian yang dijemur di luar rumah menjadi kotor serta timbul keluhan bersin dan pilek.

ARKL merupakan pendekatan yang digunakan untuk melakukan penilaian risiko kesehatan di lingkungan dengan output adalah karakterisasi risiko (dinyatakan sebagai tingkat risiko) yang menjelaskan apakah agen risiko/parameter lingkungan berisiko terhadap kesehatan masyarakat atau tidak. Selanjutnya hasil ARKL akan dikelola dan dikomunikasikan kepada masyarakat sebagai tindak lanjutnya.

Ada dua jenis ARKL yang dapat digunakan yaitu, kajian ARKL cepat atau kajian di atas meja (*desktop study*) dan kajian lapangan (*field study*) tergantung sumber data yang digunakan. ARKL di atas meja tidak menggunakan data lapangan tetapi menggunakan nilai-nilai *default*, rekomendasi dan/atau asumsi, sedangkan kajian lapangan dilakukan dengan pengukuran langsung kualitas lingkungan, pajanan (frekuensi, durasi), dan data antropometri (berat badan)

Pelaksanaan ARKL meliputi empat langkah yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis - respons, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko. Perumusan masalah juga perlu dilakukan sebelum memasuki langkah-langkah ARKL untuk dapat menjawab pertanyaan apa, di mana, berapa besar,

kapan, siapa populasi berisiko, dan bagaimana kepedulian masyarakat (populasi berisiko).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor risiko yang merupakan sumber PM<sub>2,5</sub> dari perilaku (kebiasaan merokok anggota keluarga, penggunaan obat nyamuk) dan kondisi rumah serta menganalisis risiko kesehatan lingkungan kadar PM<sub>2,5</sub> dalam ruangan pada pemukiman sekitar PG Rejo Agung Baru Kota Madiun.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan desain *cross sectional*. Sampel penelitian sebesar 14 orang responden dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Responden diambil dari 7 RT yang terletak pada jarak antara 100–500 meter arah barat (arah angin dominan) dari lokasi pabrik, merupakan ibu rumah tangga yang tidak bekerja, bukan perokok aktif, berdomisili > 5 tahun, berumur 20–50 tahun dan tidak mempunyai riwayat penyakit pernapasan. Variabel dalam penelitian ini yaitu konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dalam ruangan yang terukur kemudian dianalisis dengan metode ARKL, faktor perilaku yang meliputi kebiasaan merokok anggota keluarga, penggunaan obat nyamuk, dan kondisi rumah (suhu, kelembapan, ventilasi, jarak rumah, jenis lantai, keberadaan plafon dan kepadatan hunian).

Penelitian dilakukan dengan wawancara (untuk mengetahui lama domisili, kebiasaan merokok anggota keluarga, penggunaan obat nyamuk dan kondisi rumah) dan pengukuran berat badan dengan timbangan *bathroom scale*. Pengukuran kadar PM<sub>2,5</sub> dengan menggunakan HAZ-DUST Model EPAM 5000 oleh petugas dari Laboratorium Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga.

Data yang diperoleh diolah dengan metode ARKL untuk memperkirakan tingkat risiko kesehatan akibat paparan udara ambien dan udara *indoor* yang mengandung partikulat dari populasi berisiko. Data paparan partikulat diperoleh dari hasil pengukuran PM<sub>2,5</sub> dari udara dalam ruangan rumah di wilayah penelitian.

Pengukuran PM<sub>2,5</sub> dilakukan selama satu jam pada tiap rumah kemudian dicatat kadar minimal, rata-rata dan maksimal yang diperoleh. Hasil pengukuran kemudian dikonversi dengan menggunakan rumus persamaan model Konversi Canter (Sutra, 2009):

$$C_1 = C_2 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^p$$

Dengan keterangan:

- $C_1$  = konsentrasi udara rata-rata dengan waktu pengambilan sampel selama 24 jam ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $C_2$  = konsentrasi udara rata-rata hasil pengukuran dengan lama pengambilan sampel selama  $t_2$  jam. Dalam hal ini,  $C_2 = [C]$ . ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $t_1$  = 24 jam  
 $t_2$  = lama pengambilan sampel (jam)  
 $p$  = faktor konversi dengan nilai antara 0,17 dan 0,2, diambil 0,17.

Hasil konversi pada kadar rata-rata kemudian dibandingkan dengan baku mutu dan konversi kadar maksimal dinyatakan sebagai konsentrasi *risk agent* yang masuk ke tubuh manusia melalui inhalasi karena analisis risiko digunakan untuk memperkirakan risiko sehingga perlu diambil kadar yang tertinggi.

Pengolahan data menggunakan perhitungan analisis risiko yaitu dengan menghitung asupan (*intake*), untuk mengetahui tingkat risiko *risk agent* (RQ) terhadap konsumen. Perhitungan asupan (*intake*) diperoleh berdasarkan data konsentrasi partikulat di dalam rumah sebagai *risk agent* dalam udara ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), laju asupan paparan ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ), frekuensi paparan tahunan (hari/tahun), durasi paparan (*real time*) dalam tahun, berat badan (kg), periode waktu rata-rata (30 tahun x 365 hari/tahun untuk nonkarsinogen) (Purnama, 2012). Data asupan konsentrasi partikulat dalam udara diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Purnama, 2012):

$$I = \frac{C R t_E f_E D_t}{W_b t_{avg}}$$

- $I$  = *Intake* (asupan), jumlah *risk agent* yang masuk, ( $\text{mg}/\text{kg}/\text{hr}$ )  
 $C$  = Konsentrasi *risk agent*,  $\text{mg}/\text{m}^3$  untuk medium udara,  $\text{mg}/\text{L}$  untuk air minum,  $\text{mg}/\text{kg}$  untuk makanan atau pangan  
 $R$  = Laju (*rate*) asupan,  $20 \text{ m}^3/\text{hr}$  atau  $0.83 \text{ m}^3/\text{jam}$  (udara),  $2 \text{ L}/\text{hr}$  (air minum)  
 $t_E$  = Waktu pajanan harian, 24 jam/hari (hanya untuk pajanan inhalasi)  
 $f_E$  = Frekuensi pajanan tahunan, 350 hari/tahun  
 $D_t$  = Durasi pajanan, *real time* atau 30 tahun proyeksi  
 $W_b$  = Berat badan, (55 kg untuk orang asia)  
 $T_{avg}$  = Periode waktu rata-rata, 30 tahun x 365 hari/tahun (*non karsinogenik*)

Karakterisasi risiko kesehatan dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ, tingkat risiko) untuk efek *non karsinogenik* dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek karsinogenik. Dihitung dengan rumus (Purnama,2012):

$$RQ = \frac{I}{RfD / RfC}$$

- $I$  = *Intake*,  $\text{mg}/\text{kg}$  X hari  
 $RfD$  = *Reference doses* (untuk pajanan melalui ingesti)  
 $RfC$  = *Reference concentration* (untuk pajanan melalui inhalasi)  
 $RQ$  = *Risk Quotient*/tingkat risiko untuk efek *non karsinogen*

*Risk agent* dari udara belum memiliki *Carcinogenic Slope Factor* (CSF), oleh karena itu hanya bisa dihitung risiko *non karsinogenik*nya saja (RQ).  $RQ < 1$  berarti pemajanan *risk agent* masih relatif aman bagi kesehatan tapi bila  $RQ > 1$ , maka pemajanan *risk agent* bisa menimbulkan dampak berbahaya/ gangguan kesehatan bagi kesehatan masyarakat yang terpajan. Apabila hasil  $RQ > 1$  maka perlu dilakukan manajemen risiko dengan pengelolaan risiko.

Manajemen risiko dilakukan dengan strategi manajemen risiko dan cara manajemen risiko. Strategi manajemen risiko meliputi penentuan batas aman yaitu konsentrasi agen risiko (C), dan/atau jumlah konsumsi (R), dan/atau waktu pajanan (tE), dan/atau frekuensi pajanan (fE), dan/atau durasi pajanan (Dt). Cara manajemen risiko dilakukan dengan 3 pendekatan yaitu pendekatan teknologi, pendekatan sosioekonomi dan pendekatan institusional. Strategi manajemen risiko yang mungkin dilakukan di lokasi pemukiman yaitu penentuan batas aman konsentrasi agen risiko dan pembatasan durasi pajanan. Cara penentuan batas aman ( $C_{nk(aman)}$ ) diperoleh dari perkalian referensi konsentrasi agen risiko yang aman (RfC) dengan berat badan ( $W_b$ ) dan periode waktu rata-rata ( $t_{avg}$ ) kemudian dibagi dengan perkalian volume udara yang masuk tiap jam (R), lama pajanan tiap hari ( $t_E$ ) dan lama jumlah hari terjadinya pajanan ( $f_E$ ) dan lamanya tahu terjadi pajanan ( $D_t$ ) yang dapat di gambar.

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

Durasi pajanan aman non karsinogenik ( $D_t$ ) diperoleh dari perkalian referensi konsentrasi agen risiko yang aman (RfC) dengan berat badan ( $W_b$ ) dan periode waktu rata-rata ( $t_{avg}$ ) kemudian dibagi dengan perkalian konsentrasi agen risiko (C) dengan volume udara yang masuk tiap jam (R), lama pajanan tiap hari ( $t_E$ ) dan lama jumlah hari terjadinya pajanan ( $f_E$ ) yang dapat di ringkas dengan rumus berikut:

$$D_{tk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E}$$

Penelitian ini telah mendapat persetujuan dari komisi etik kesehatan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga dengan no. sertifikat 213-KEPK.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Konsentrasi $PM_{2,5}$ dalam Ruangan (*Risk Agent*)

Hasil pengukuran konsentrasi  $PM_{2,5}$  yang diukur selama 1 jam pada 14 rumah responden dicantumkan pada Tabel 2. Hasil pengukuran selama 1 jam dikonversi untuk pengukuran 24 jam untuk dibandingkan dengan kadar maksimal yang dipersyaratkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah yaitu  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  selama 24 jam atau  $0,035 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Pada pengukuran 14 rumah di sekitar PG Rejo Agung Baru diketahui bahwa terdapat 7 rumah dengan konsentrasi rata-rata  $PM_{2,5}$  di udara dalam ruang ternyata melampaui kadar maksimal yang diperbolehkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah. Hasil Pengukuran Risk Agent ( $PM_{2,5}$ ) di udara ruang 14 Responden dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 menunjukkan pada hasil pengukuran kadar minimal kadar  $PM_{2,5}$  dalam ruangan seluruhnya masih memenuhi baku mutu, sedangkan pada hasil pengukuran kadar rata-rata dan kadar maksimal terdapat responden yang kadar  $PM_{2,5}$  melebihi baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.

**Tabel 1.**

Hasil Pengukuran Risk Agent ( $PM_{2,5}$ ) di Rumah Sekitar PG Rejo Agung Baru Madiun Juni 2014

Kadar minimal ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Kadar rata-rata ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Kadar maksimal ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
0,027	<b>0,050</b>	<b>0,171</b>
0,017	<b>0,058</b>	<b>0,217</b>
0,011	0,019	<b>0,045</b>
0,009	0,019	<b>0,041</b>
0,022	0,034	<b>0,067</b>
0,044	<b>0,077</b>	<b>0,143</b>
0,034	<b>0,040</b>	<b>0,051</b>
0,029	0,034	<b>0,040</b>
0,037	<b>0,041</b>	<b>0,059</b>
0,027	0,033	<b>0,047</b>
0,029	<b>0,045</b>	<b>0,083</b>
0,018	0,023	<b>0,044</b>
0,027	<b>0,049</b>	<b>0,080</b>
0,009	0,017	<b>0,041</b>

**Keterangan:** Baku Mutu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1077/MENKES/PER/V/2011 sebesar  $0,035 \text{ mg}/\text{m}^3$

1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah, yaitu sebesar  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $0,035 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) selama 24 jam.

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi diketahui dari 7 responden yang kadar  $PM_{2,5}$  rata-rata dalam ruangan rumahnya melebihi baku mutu terdapat perilaku anggota keluarga mempunyai kebiasaan merokok, menggunakan lantai keramik, menggunakan obat nyamuk bakar, suhu ruangan melebihi baku mutu, kelembapan melebihi baku mutu, jarak rumah < 300 meter dan mempunyai plafon. Peningkatan kadar bahan polutan di dalam ruangan selain berasal dari penetrasi polutan luar ruangan dapat juga dari sumber polutan dalam ruangan seperti asap rokok, asap yang berasal dari dapur atau pemakaian obat anti nyamuk. Sumber lain bahan polutan di dalam ruangan adalah perlengkapan pekerjaan seperti

pakaian, sepatu atau perlengkapan lainnya yang dibawa masuk ke dalam rumah dari tempat kerja. Perbedaan bahan polutan di dalam dan luar ruangan tergantung faktor gaya hidup individu, sosial ekonomi, struktur gedung, kondisi bahan polutan di dalam dan luar ruangan, ventilasi dan sistem pendingin ruangan, geografi dan meteorologi serta lokasi sumber polutan di luar ruangan (Mukono, 2008).

Sumber pencemar partikulat dari luar antara lain lokasi pemukiman yang dekat dengan pabrik gula. Meskipun dari hasil pengukuran udara emisi cerobong pada tahun 2013 kadar partikulat dari ketiga cerobong yang dimiliki PG Rejo Agung Baru yaitu cerobong Cheng Cen, Yoshimine, dan Babcock masih di bawah baku mutu dan ketinggian cerobong sudah sesuai dengan persyaratan yang ada dan sudah dilengkapi *dust fall collector* pada semua cerobong, berdasarkan wawancara dengan masyarakat sekitar diperoleh informasi masih terdapat keluhan adanya debu pabrik yang mengganggu. Jika dilihat dari bahan bakar yang digunakan untuk ketel yaitu ampas tebu atau *bagasse* dari sisa produksi saja, kondisi asap yang dihasilkan akan berwarna putih bersih tanpa residu, namun jika kapasitas produksi besar dan bahan tersebut jumlahnya tidak mencukupi maka digunakan alternatif bahan bakar lain seperti batok kelapa, daun tebu dan sekam padi. Bahan bakar alternatif ini lebih sering menimbulkan keluhan pada masyarakat karena menimbulkan warna hitam pekat pada asap yang keluar dari cerobong dan residu pembakaran yang jatuh di pemukiman semakin banyak bahkan sampai masuk ke dalam rumah saat memasuki masa giling. Residu berupa *Bagasse Fly Ash* (serbuk-serbuk putih yang sangat lembut) dan langes (arang) ini lebih banyak dikeluhkan saat kapasitas produksi berjalan maksimal oleh warga yang tinggal < 300 meter dari Pabrik Gula.

### Analisis Dosis Respons

Penentuan dosis respons dengan jalur masuk melalui inhalasi, ingesti maupun *skin contact* bertujuan untuk memperkirakan jumlah paparan setiap harinya atau dalam waktu tertentu yang dapat diterima manusia tanpa menimbulkan efek berbahaya selama masa hidupnya (Purnama, 2012). Berdasarkan berbagai literatur diketahui partikulat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur inhalasi (sistem pernapasan). Partikulat tidak mempunyai implikasi terhadap kasus kanker sehingga efek yang akan digunakan dalam analisis adalah efek sistemik atau efek *non karsinogenik*. *Agent* PM<sub>2,5</sub> mempunyai dosis respon 35 µg/m<sup>3</sup> atau 0,035 mg/m<sup>3</sup> dengan efek kritis gangguan saluran pernapasan menurut referensi EPA/PMNAAQS 2012.

### Analisis Pemajanan

Analisis pajanan dilakukan dengan memasukkan nilai dari variabel kadar agen, laju

inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk tiap jam, frekuensi pajanan, berat badan, lama pajanan setiap harinya, lama terjadinya pajanan dan periode waktu rata-rata untuk efek *non karsinogenik*. Laju asupan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{C R t_E f_E D_t}{W_b t_{avg}}$$

Laju inhalasi dalam penelitian ini yaitu 0,83 mg/m<sup>3</sup> yang merupakan nilai *default* untuk orang dewasa. Lamanya jam terjadi pajanan setiap harinya menggunakan pajanan pada pemukiman yaitu 24 jam/hari dan jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya yaitu 350 hari/tahun, sedangkan

untuk lamanya atau jumlah tahun terjadinya paparan yaitu 30 tahun dengan periode waktu rata-rata untuk efek *non karsinogenik* yaitu 10.950 hari. RfC yang digunakan yaitu 0,035 mg/m<sup>3</sup>. Karena ARKL digunakan untuk memprediksi risiko yang kemungkinan akan timbul nantinya maka yang digunakan dalam perhitungan intake hingga karakterisasi risiko menggunakan hasil pengukuran PM<sub>2,5(maksimal)</sub>. Hasil perhitungan intake dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai intake adalah nilai yang menunjukkan dosis sebenarnya yang diterima oleh individu setiap hari per kilogram berat badan. Dalam penelitian ini, perhitungan intake atau asupan dilakukan dengan menggunakan durasi pajanan *lifetime*. Pajanan *lifetime* yaitu durasi pajanan seumur hidup. Pada pajanan *non karsinogenik* periode waktu rata-rata selama 30 tahun untuk orang dewasa pada tabel 3. Hasil penelitian menemukan bahwa terdapat 50% responden yang terpajan PM<sub>2,5</sub> melampaui dosis referensi harian yang diperbolehkan. Pengukuran kadar PM<sub>2,5</sub> dilakukan selama 1 jam. Pengukuran ini belum dapat mewakili pengukuran rata-rata 24 jam sehingga harus melalui perhitungan menggunakan faktor konversi. Pada saat pengukuran berlangsung, dilakukan pencatatan terhadap segala situasi yang berpotensi mempengaruhi konsentrasi PM<sub>2,5</sub> dengan mengamati fluktuasi monitor EPAM 5000. Berdasarkan hasil observasi, sumber-sumber pencemar PM<sub>2,5</sub> yang ada di rumah responden berasal dari asap rokok, debu sekitar, asap rokok, jenis lantai, plafon atap, jenis kasur, korden dan karpet.

**Tabel 2.**  
Analisis Pemajanan pada 14 Responden di Sekitar PG Rejo Agung Baru Madiun Juni 2014

C Konsentrasi maksimal risk agen (mg/m <sup>3</sup> )	R Laju Asupan (m <sup>3</sup> /hari)	t <sub>E</sub> Waktu pajanan (jam/hari)	f <sub>E</sub> Frekuensi pajanan (hari/tahun)	D <sub>t</sub> Durasi pajanan (tahun)	W <sub>b</sub> Berat badan (kg)	T <sub>avg</sub> Periode waktu rata- rata	I Intake (mg/kh/hr)
0,050	0,83	24	350	30	59	10950	0,0160
0,058	0,83	24	350	30	65	10950	0,0171
0,019	0,83	24	350	30	55	10950	0,0067
0,019	0,83	24	350	30	57	10950	0,0064
0,034	0,83	24	350	30	41	10950	0,0157
0,077	0,83	24	350	30	63	10950	0,0233
0,040	0,83	24	350	30	60	10950	0,0128
0,034	0,83	24	350	30	112	10950	0,0058
0,041	0,83	24	350	30	49	10950	0,0159
0,033	0,83	24	350	30	50	10950	0,0127
0,045	0,83	24	350	30	53	10950	0,0162
0,023	0,83	24	350	30	60	10950	0,0074
0,049	0,83	24	350	30	62	10950	0,0151
0,017	0,83	24	350	30	63	10950	0,0053

Umumnya, kegiatan yang dapat langsung meningkatkan dan menurunkan konsentrasi PM<sub>2,5</sub> adalah adanya aktivitas merokok yang dilakukan oleh anggota keluarga responden saat dilakukan pengukuran serta adanya aktivitas menyapu pekarangan oleh tetangga sekitar terutama pada waktu pengukuran pagi dan sore hari.

### Karakterisasi Risiko

Karakteristik risiko dinyatakan sebagai RQ (*Risk Quotien*) untuk efek *non* karsinogenik. Proses karakterisasi risiko merupakan hasil perbandingan antara dosis paparan/intake dengan RfC atau NAB ( $RQ = I/Rfc$ ). Rfc yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0,035 mg/m<sup>3</sup>. Tingkat risiko dinyatakan aman jika  $RQ \leq 1$  dan dinyatakan tidak aman jika  $RQ > 1$ .

Tabel 3 menunjukkan terdapat 3 responden dengan  $RQ_{(maksimal)} > 1$  atau tidak aman dengan intake tersebut untuk proyeksi 30 tahun mendatang. Besarnya nilai intake atau asupan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju asupan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan yang artinya, semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar asupan seseorang (Gertrudis, 2010). Berdasarkan hasil perhitungan, dapat dilihat bahwa berat badan responden sangat berpengaruh terhadap hasil intake atau asupan.

Semakin besar berat badan individu, semakin kecil dosis yang diterima (Rahman, 2007).

Responden yang memperoleh  $RQ > 1$  yaitu responden 1, responden 2 dan responden 6. Ketiga responden tersebut ditemukan kesamaan dari faktor lingkungan yaitu mempunyai kadar

**Tabel 3.**  
Karakterisasi Risiko pada 14 Responden di Sekitar PG Rejo Agung Baru Madiun Juni 2014

Intake Konsentrasi Maksimal (mg/kg × hari)	RQ <sub>(mak)</sub>	Keterangan
0,0553	<b>1,5790</b>	<b>Tidak aman</b>
0,0637	<b>1,8197</b>	<b>Tidak aman</b>
0,0156	0,4451	Aman
0,0137	0,3905	Aman
0,0312	0,8918	Aman
0,0435	<b>1,2415</b>	<b>Tidak aman</b>
0,0163	0,4663	Aman
0,0069	0,1959	Aman
0,0229	0,6554	Aman
0,0178	0,5087	Aman
0,0298	0,8519	Aman
0,0139	0,3974	Aman
0,0246	0,7026	Aman
0,0124	0,3533	Aman

PM<sub>2,5</sub> terukur melebihi baku mutu, mempunyai anggota keluarga dengan kebiasaan merokok dan menggunakan obat nyamuk bakar. Jika dilihat dari jarak rumah dengan sumber pencemar, 2 responden yang jarak rumahnya < 300 meter mempunyai RQ > 1. Tingginya RQ dipengaruhi oleh adanya intake yg masuk di mana intake sangat dipengaruhi oleh berat badan responden dan kadar agen risiko. ini dapat dilihat dari perhitungan yang ada di mana dari 7 responden yang kadar PM<sub>2,5</sub> melebihi baku mutu ternyata terdapat 3 orang yang RQ nya dinyatakan tidak aman. Faktor yang paling dominan mempengaruhi hal ini adalah berat badan di mana semakin besar berat badan responden maka jumlah paparan polutan yang diterima akan semakin kecil.

Besarnya nilai intake atau asupan berbanding lurus dengan nilai konsentrasi bahan kimia, laju asupan, frekuensi pajanan dan durasi pajanan yang artinya, semakin besar nilai tersebut maka akan semakin besar asupan seseorang (Gertrudis, 2010). Berdasarkan hasil perhitungan, dapat dilihat bahwa berat badan responden sangat berpengaruh terhadap hasil intake atau asupan. Semakin besar berat badan individu, semakin kecil dosis yang diterima (Rahman *et al.*, 2008).

### Manajemen Risiko

Manajemen risiko bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan bilamana hasil karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman ataupun *unacceptable*. Manajemen risiko pada dasarnya adalah melakukan manipulasi nilai asupan (intake) agar sama dengan nilai (RfC) sehingga  $I/RfC = 1$ . Agar nilai asupan intake sama dengan nilai RfC maka dapat dilakukan dengan cara penurunan konsentrasi risk agent (C), dengan waktu pajanan tetap seperti saat dilakukan survey untuk proyeksi waktu 30 tahun kedepan atau memperpendek waktu pajanan (tE dan fE) dengan konsentrasi risk agent tetap seperti saat dilakukan survey (Junaidi, 2007).

Manajemen risiko pada daerah pemukiman dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu strategi manajemen risiko dan cara manajemen risiko. Strategi manajemen risiko yang dapat digunakan yaitu penurunan konsentrasi hingga ke batas aman (konsentrasi aman) dan pembatasan durasi pajanan hingga ke batas aman misalnya dengan membatasi masa tinggal masyarakat pada suatu pemukiman dengan cara melakukan relokasi

pemukiman saat telah melewati batas durasi aman.

Batas aman konsentrasi PM<sub>2,5</sub> menurut EPA yaitu 0,035 mg/m<sup>3</sup> selama 24 jam sehingga konsentrasi aman untuk responden 1 menurut perhitungan yaitu 0,1081 mg/m<sup>3</sup> dan durasi pajanan aman yaitu 19 tahun, konsentrasi aman untuk responden 2 menurut perhitungan yaitu 0,1191 mg/m<sup>3</sup> dan durasi pajanan aman yaitu 16 tahun, dan konsentrasi aman untuk responden 6 menurut perhitungan yaitu 0,1154 mg/m<sup>3</sup> dan durasi pajanan aman yaitu 24 tahun.

Strategi manajemen risiko yang dapat diterapkan hanya pada penurunan konsentrasi pada batas aman sedangkan untuk durasi pajanan aman akan cukup sulit diterapkan mengingat biaya yang besar untuk relokasi rumah.

Pada ketiga responden dengan kadar rata-rata yang terukur melebihi baku mutu diketahui mempunyai kesamaan karakteristik yaitu terdapat anggota keluarga yang merokok, menggunakan obat nyamuk bakar dan tidak terdapat pohon/tanaman di sekitar rumah responden sehingga cara manajemen risiko dilakukan dengan cara pendekatan teknologi, pendekatan sosio-ekonomis dan pendekatan institusional.

Pendekatan teknologi dilakukan dengan modifikasi cerobong asap PG, penanaman tanaman penyerap polutan di sekitar rumah responden dan memaksimalkan penggunaan ventilasi rumah serta memberikan filter pada lubang angin agar jumlah debu yang masuk dapat berkurang.

Pendekatan sosio-ekonomis dilakukan dengan mengikutsertakan pihak lain, efisiensi proses, substitusi dan penerapan kompensasi. Pendekatan sosio-ekonomi sudah dilakukan oleh PG Rejo Agung diantaranya 3R limbah, penggunaan *zero* bahan bakar fosil untuk produksi dan kompensasi pada masyarakat yang terkena dampak dengan memberikan lapangan pekerjaan pada masyarakat sekitar selama berlangsung proses produksi (masa giling).

Pendekatan institusional dilakukan dengan *law enforcement* baku mutu udara ambien dan baku mutu kualitas udara dalam rumah serta edukasi PHBS di lingkungan rumah.

### Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko yang dilakukan adalah kepada Dinas Kesehatan Kota Madiun mengenai perlunya pemantauan kesehatan kepada



masyarakat dan penegakan program larangan merokok di dalam rumah, Badan Lingkungan Hidup Kota Madiun mengenai perlunya pemetaan sebaran pencemaran di sekitar area industri di wilayah Kota Madiun, PG Rejo Agung Kota Madiun mengenai perlunya peningkatan pengawasan kualitas udara ambien dan udara emisi dan masyarakat atau populasi terdampak.

### Faktor Risiko Perilaku Responden

Sumber PM<sub>2,5</sub> dalam penelitian ini dilihat dari faktor perilaku dalam rumah yaitu kebiasaan merokok anggota keluarga dan penggunaan obat nyamuk.

Tabel 4 menunjukkan bahwa responden paling banyak mempunyai anggota keluarga dengan kebiasaan merokok dan menggunakan obat nyamuk bakar. Meskipun responden dalam penelitian ini bukan perokok aktif tetapi adanya anggota keluarga yang merokok di dalam rumah dapat meningkatkan kadar PM<sub>2,5</sub> dalam ruangan rumah. Rokok yang dikonsumsi anggota keluarga responden rata-rata berjenis kretek di mana rokok kretek tidak dilengkapi dengan filter yang berfungsi mengurangi asap yang keluar dari rokok seperti yang terdapat pada jenis filter. Penelitian Lolivianda (2013) menunjukkan bahwa nilai konsentrasi partikel dan faktor emisi pada merk rokok jenis non filter baik produk nasional maupun lokal (Malang) lebih besar dari pada merk rokok jenis filter karena pada pangkal rokok filter terdapat gabus yang fungsinya untuk menyaring atau menyerap partikel dan bahan baku lainnya yang dihasilkan pada asap rokok

**Tabel 4.**

Faktor Risiko Perilaku Responden Sekitar PG Rejo Agung Baru Madiun Juni 2014

Faktor Risiko Perilaku	Total n (%)
<b>Kebiasaan Merokok Anggota Keluarga</b>	
Ada	12 (85,7%)
Tidak ada	2 (14,3%)
<b>Total</b>	<b>14 (100%)</b>
<b>Penggunaan Obat Nyamuk</b>	
Tidak menggunakan	1 (7,1%)
Obat nyamuk bakar	6 (42,9)
Obat nyamuk elektrik	4 (28,6%)
Lotion anti nyamuk	3 (21,4%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>

seperti partikel *ultrafine*. Selain itu asap rokok yang dibuang di lingkungan jumlahnya lebih banyak daripada asap yang masuk kedalam tubuh perokok karena asap akan terus menerus dihasilkan selama rokok menyala walaupun tidak sedang dihisap. Kegiatan merokok tidak saja menyebarkan asap ke udara tetapi juga partikel-partikel non asap dan juga mengotori udara dalam rumah (*indoor pollution*). Sisa hasil pembakaran rokok yang bersifat partikulat tetap berada di dalam rumah apabila rumah tidak dibersihkan (Gertrudis,2010).

Responden terbanyak menggunakan obat nyamuk bakar sebanyak 6 orang dengan persentase 28,6%. Obat nyamuk bakar biasanya dipasang di ruangan dari pukul 18.00 sampai pagi hari. Penggunaan obat nyamuk ini dinilai lebih efektif dalam mengusir nyamuk dan lebih murah. Berdasarkan riset *University of Medicine and Dentistry of New Jersey (UMDNJ) and Rutgers University*, ditemukan bahan organik ringan dalam jumlah banyak berupa bahan *carcinogens* dan bahan diduga karsinogen, sedangkan secara ukuran partikel, asap tersebut sangat halus dan halus. Asap dari obat nyamuk akan memberikan risiko kesehatan yang kronis dan sangat akut.

Obat anti nyamuk bakar mengandung insektisida yang disebut *d-aletrin* 0,25%. Apabila dibakar akan mengeluarkan asap yang mengandung *d-aletrin* sebagai zat yang dapat mengusir nyamuk, tetapi jika ruangan tertutup tanpa ventilasi maka orang di dalamnya akan keracunan *d-aletrin*. Selain itu, yang dihasilkan dari pembakaran juga CO dan CO<sub>2</sub> serta partikulat-partikulat yang bersifat iritan terhadap saluran pernapasan. (Wardani, 2012).

### Faktor Risiko Kondisi Rumah

Kondisi rumah meliputi jarak rumah dengan PG, suhu, kelembapan, ventilasi, jarak rumah, jenis lantai, keberadaan plafon dan kepadatan hunian.

Terdapat 13 responden (92,9%) mempunyai suhu ruangan yang tidak memenuhi syarat berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah yaitu berkisar antara 16–30°C. Suhu bergantung pada musim dan kondisi geografis setempat. Suhu dalam rumah dipengaruhi oleh suhu udara luar, pergerakan udara, dan kelembapan ruangan. Suhu udara yang tinggi dapat meningkatkan konsentrasi

**Tabel 5.**  
Kondisi Rumah Responden Sekitar PG Rejo Agung  
Baru Madiun Juni 2014

Kondisi Rumah	Total n (%)
<b>Jarak Rumah dari PG (meter)</b>	
< 300	
300–500	6 (42,9%)
	8 (57,1%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>
<b>Suhu Ruangan</b>	
Memenuhi syarat	1 (7,1%)
Tidak memenuhi syarat	13 (92,9%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>
<b>Kelembapan Ruangan</b>	
Memenuhi syarat	5 (35,7%)
Tidak memenuhi syarat	9 (64,3%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>
<b>Jenis Lantai</b>	
Semen	3 (21,4%)
Ubin	4 (28,6%)
Keramik	7 (50%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>
<b>Keberadaan Plafon</b>	
Ada	9 (64,3%)
Tidak ada	5 (35,7%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>
<b>Kepadatan Hunian</b>	
< 3,5 m <sup>2</sup> /orang (tinggi)	3 (21,4%)
> 3,5 m <sup>2</sup> /orang (rendah)	11 (78,6%)
<b>Total</b>	<b>14(100)</b>

partikel debu di udara. Hal ini ditunjukkan dari hasil penelitian yang menyatakan bahwa suhu udara sebesar 33,1°C berpengaruh kuat dengan meningkatnya konsentrasi partikel debu di udara. (Putri, 2012).

Pengukuran menunjukkan 5 orang responden (35,7%) tinggal di rumah yang memiliki kelembapan memenuhi kadar maksimal yang dipersyaratkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah yaitu berkisar antara 40–60% Rh. Seluruh responden yang kelembapan ruangnya melebihi baku mutu juga mempunyai kadar PM<sub>2,5</sub> yang melebihi baku mutu. Kebanyakan responden mempunyai rumah yang menghadap kearah timur dan barat sehingga mendapat sinar matahari sepanjang hari yang cukup sepanjang hari. Adanya sinar matahari yang cukup menyebabkan suhu dan kelembapan naik secara bersamaan.

Kelembapan udara merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk mengukur kualitas udara dalam ruang, di mana ventilasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kelembapan. Ventilasi yang kurang dapat menyebabkan kelembapan bertambah (Mukono, 2011). Kelembapan di luar rumah secara alami dapat mempengaruhi kelembapan di dalam rumah. Ruang yang lembab memungkinkan tumbuhnya mikroorganisme patogen. Untuk mendapatkan tingkat kelembapan yang baik hendaknya mengatur agar pertukaran udara selalu lancar serta sinar matahari dapat masuk yaitu dengan perbaikan ventilasi (Khairiah, 2012).

Responden paling banyak menggunakan lantai keramik yaitu 7 responden (50%). Jenis lantai keramik adalah lantai yang kedap air dan tidak menghasilkan debu serta mudah dibersihkan. Mayoritas responden yang menggunakan lantai keramik juga sudah menggunakan plafon sebanyak 9 responden (64,3%) yang menggunakan plafon pada atapnya. Penggunaan plafon pada dasarnya bertujuan untuk mencegah cuaca panas atau dingin serta kotoran agar tidak langsung masuk ke dalam rumah setelah melewati atap tetapi tujuan tersebut tidak akan berjalan jika kebersihan dan keutuhan plafon tidak terjaga.

Sebanyak 11 responden (78,6%) mempunyai tingkat kepadatan hunian yang rendah/ideal. Di lihat dari bentuk rumah yang ada di sekitar Kota Madiun, rata-rata memiliki rumah yang cukup luas dan jumlah anggota keluarga yang sedikit. Keadaan ini membuat frekuensi pembersihan rumah menjadi lebih sedikit. Keadaan hunian yang padat dapat meningkatkan faktor polusi dalam rumah yang telah ada.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah Kadar rata-rata PM<sub>2,5</sub> yang memenuhi kadar maksimal yang dipersyaratkan menurut peraturan Menteri kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman penyehatan Udara dalam Ruang Rumah sebanyak 7 responden. Hasil ARKL pada konsentrasi PM<sub>2,5(maksimal)</sub> terdapat 3 responden mempunyai tingkat risiko pajanan tidak aman bagi ibu rumah tangga dengan berat badan dan konsentrasi yang ada dengan lama berada di rumah 24 jam/hari dan frekuensi pajanan 350hari/tahun selama 30 tahun kedepan, sehingga dilakukan manajemen risiko kesehatan dengan mengurangi konsentrasi

hingga ke batas aman dengan menentukan konsentrasi aman dan durasi pajanan aman untuk mengurangi risiko timbulnya gangguan kesehatan. Faktor perilaku yang merupakan sumber  $PM_{2,5}$  dalam rumah responden paling banyak berasal dari asap rokok, penggunaan obat nyamuk bakar, sedangkan dari faktor kondisi rumah yaitu jarak rumah yang < 300 meter dari pabrik gula, suhu dan kelembapan yang tidak memenuhi syarat.

Untuk mengurangi kadar pencemar yang masuk ke dalam rumah sebaiknya di depan rumah responden diberi tanaman yang dapat menyerap polutan (misalnya tanaman lidah mertua), responden sebaiknya memaksimalkan penggunaan ventilasi dengan selalu membuka jendela tiap pagi dan siang hari agar sirkulasi udara berjalan dengan baik, sebaiknya jika ada anggota keluarga yang merokok kegiatan merokok dilakukan di luar rumah dan puntung rokok tidak dibuang di dalam rumah dan responden tidak menggunakan obat nyamuk bakar untuk digunakan di dalam ruangan tertutup.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fierro, M. 2000. Particulate Matter. Arizona: Pima County. [http://www.airinfonow.org/pdf/Particulate\\_Matter.pdf](http://www.airinfonow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf) (sitasi tanggal 22 November 2013).
- Gertudris, 2010. Hubungan Antara Kadar Partikulat ( $PM_{10}$ ) Udara Rumah Tinggal dengan Kejadian ISPA pada Balita di Sekitar Pabrik Semen PT Indocement, Citereup, Tahun 2010. *Skripsi*. Universitas Indonesia. <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/20313307-T%2031721-Hubungan%20antara-full%20etxt.pdf> (sitasi 29 Juni 2014)
- Junaidi. 2007. Analisis dan Manajemen Risiko Pencemaran Sulfur Dioksida ( $SO_2$ ) Udara Ambien pada Pedagang Kaki Lima di Terminal Bus Pasar Senen, Jakarta Pusat 2007. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Khairiah. Analisis Konsentrasi Debu dan Keluhan Kesehatan pada Masyarakat di Sekitar Pabrik Semen di Desa Kuala Indah Kecamatan Sei Suka Kabupaten Batu Bara Tahun 2012. *Jurnal Lingkungan dan Kesehatan Kerja* Vol 2 No.1 Tahun 2013. <http://jurnal.usu.ac.id/index.php/lkk/article/download/1162/607> (sitasi 16 Agustus 2014)
- Lolivianda, E. 2013. Pengukuran Faktor Emisi Partikel Ultrafine pada Asap Rokok yang Beredar di Indonesia. *Physic Student Journal* Vol. 01 No. 01 2013. Malang. Universitas Brawijaya. <http://physics.studentjournal.ub.ac.id/index.php/psj/article/download/38/35> sitasi 20 Juli 2014 pukul 01.35.
- Mukono. 2011. *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan, Edisi Kedua*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Mukono.2008. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya terhadap Gangguan Saluran Pernapasan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009 Tentang *Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak di Jawa Timur*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang *Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah*.
- Purnama, D. 2012. *Modul Bahan Ajar Pelatihan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*. Cikarang: Balai Pelatihan Kesehatan Cikarang.
- Purwaningsih, E. 2011. Polusi Udara dan Pengaruhnya terhadap Kesehatan Masyarakat (Studi Kasus Pabrik Gula Mojo Sragen). *Tesis*. Universitas Gajah Mada.
- Putri, E. 2012. Konsentrasi  $PM_{2,5}$  di Udara Dalam Ruang dan penurunan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Sekitar Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta Timur Tahun 2012. *Skripsi*. Universitas Indonesia. <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/20319881-S-PDF-Eky%20Pramitha%20Dwi%20Putri.pdf> (sitasi 4 Juli 2014)
- Rahman, A. 2007. *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Program Intensif Tingkat Dasar), Kajian Aspek Kesehatan Masyarakat dalam Studi Amdal dan Kasus-Kasus Pencemaran Lingkungan*, Depok: FKM-UI.
- Rahman. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pertambangan Kapur di Sukabumi, Cirebon, Tegal, Jepara dan Tulung Agung. *Jurnal Ekologi Kesehatan* Vol.7 No.1, April 2008: 665-677. <http://ejournal.litbang.depkes.go.id/index.php/jek/article/download/1643/pdf> (sitasi 15 Agustus 2014)
- Sucipto, E. 2007. Hubungan Pemaparan Partikel Debu Pada Pengolahan Batu Kapur terhadap Penurunan Kapasitas Fungsi Paru (Studi Kasus di Desa Karangdawa, Kecamatan Margasari, Kabupaten Tegal). *Tesis*. Universitas Diponegoro [http://eprints.undip.ac.id/17469/1/EDY\\_SUCIPTO.pdf](http://eprints.undip.ac.id/17469/1/EDY_SUCIPTO.pdf) (sitasi 9 Juli 2014)
- Sutra, D., 2009. Hubungan antara Pemajanan Particulate Matter 10 ( $PM_{10}$ ) dengan Gejala Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) pada Pekerja Pertambangan Kapur Tradisional (Studi di Pertambangan Kapur Tradisional Gunung Masigit Kabupaten Bandung Barat. *Skripsi*. Depok: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.
- Sugiyanto, C. Permintaan Gula di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan* Vol. 8, No.2, Desember 2007, hal 113-127. [http://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/159/1.%20Catur%20Sugiyanto\(Permintaan%20Gula\).pdf?sequence=1](http://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/159/1.%20Catur%20Sugiyanto(Permintaan%20Gula).pdf?sequence=1) (sitasi 15 Agustus 2014)
- U.S. EPA. 2003. *Particle Pollution and Your Health*. Washington, DC: U.S. EPA.
- Wardani, T.2012. Perbedaan Tingkat Risiko Kesehatan oleh Pajanan  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  dan  $NO_2$  pada Hari Kerja, Hari Libur dan Hari Bebas Kendaraan Bermotor di Bundaran HI Jakarta. *Skripsi*. Universitas Indonesia <http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/20318132-S-Tri%20Kusuma%20Wardani.pdf> sitasi 28 Juni 2014 puku