



PENGARUH MODEL TURBULENSI ALIRAN TERHADAP SIMULASI NUMERIK AIRCURTAIN

Zain Lillahulhaq, Hasan Syafik Maulana

Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITATS

email: zain@itats.ac.id

ABSTRAK

Air curtain banyak digunakan di pintu masuk departemen store, biocabinet, lemari pendingin terbuka, hingga ruang operasi. Model turbulensi yang digunakan dalam simulasi aircurtain sangat mempengaruhi hasil perhitungan numeric. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek masing-masing model turbulensi terhadap simulasi air curtain. Karakteristik aliran yang mengalir pada air curtain juga akan dijelaskan pada paper ini. Simulasi 2D akan dilakukan pada kondisi steady dengan fluida compressible. Model turbulensi $k-\omega$ BSL dan Transition $k-\omega$ menghasilkan nilai eror yang rendah pada simulasi air curtain

Kata kunci: air curtain, model turbulensi, validasi

PENDAHULUAN

Air curtain merupakan sistem pengkondisi aliran udara untuk memisahkan udara dalam ruangan dan luar ruangan. Penggunaan air curtain banyak dilakukan untuk mempermudah mobilitas tanpa harus membuka atau menutup lapisan beda padat. Selain itu air curtain digunakan untuk mengisolasi suatu ruangan untuk mencegah adanya partikel dan kontaminasi bakteri yang keluar masuk dari suatu area (Guo & Li, 2012). Aplikasi tersebut banyak di temui pada laboratorium maupun pengolahan obat-obatan (S. C. Hu, Shiue, Tu, Liu, & Chiu, 2015). Selain itu, penggunaan air curtain banyak dipilih untuk mengkondisikan temperatur udara dalam suatu ruangan. Misalnya saja pada ruangan pendingin sebuah perusahaan, air curtain digunakan saat truk pengangkut barang memindahkan muatan dari gudang pendingin (Guo & Li, 2012). Dengan adanya air curtain, udara dingin dalam pendingin ruangan tidak akan berhembus keluar ruangan saat proses bongkar muat. Penggunaan air curtain juga

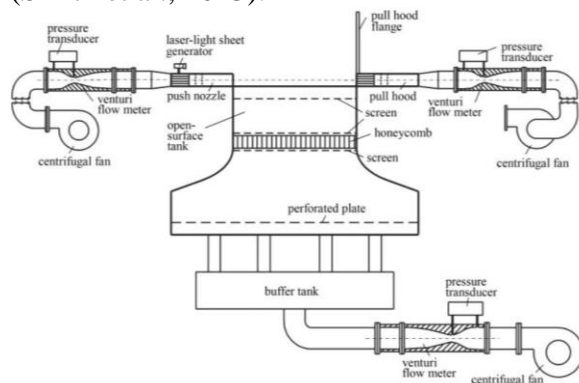
banyak digunakan di pintu masuk pertokoan dan pusat perbelanjaan (Yang et al., 2019). Penggunaan air curtain juga dapat difungsikan sebagai sebagai penghalau asap berbahaya keluar dari satu ruangan laboratorium (R. F. Huang et al., 2007).

Air curtain terdiri dari sebuah jet flow blower yang dipasang diatas pintu masuk sebuah ruangan. Untuk mengkondisikan udara dengan lebih baik, di bagian bawah blower akan dipasang exhaust untuk menyerap udara yang mengalir dari jet blower. Hal ini menyebabkan adanya lapisan udara yang membatasi udara luar ruangan untuk masuk kedalam ruangan (L. H. Hu, Zhou, Huo, Peng, & Wang, 2008). Penambahan komponen penyaring udara seperti HEPA filter dapat menangkap bakteri yang berada di udara sekitar. HEPA filter ditambahkan pada daerah suction dan blower (Guo & Li, 2012). Pada beberapa kasus, doorsill juga ditambahkan untuk mencegah kebocoran aliran dari ruangan yang di isolasi oleh air curtain. Kebocoran aliran yang terjadi pada pemasangan doorsill

terjadi akibat kurang aerodinamisnya bentuk doorsill. Doorsill dengan ujung tajam menghasilkan sparasi aliran yang menimbulkan banyak kebocoran (Tseng, Huang, & Chen, 2008).

Selain air curtain, kasus pengkondisian udara dapat dilihat pada aplikasi push-pull ventilation dan biological cabinet. Push pull exhaust ventilation banyak digunakan untuk mencegah asap menyebar keseluruh ruangan. Dalam pengaplikasiannya exhaust ventilation ini banyak digunakan untuk menghalau bau asap dari proses memasak di restoran. Sedangkan biological cabinet merupakan air curtain yang digunakan untuk ruangan berskala kecil.

Penelitian yang berkaitan dengan air curtain sangat luas pada aliran stedy kasus yang ditinjau meliputi jarak sparasi aliran dari air curtain (Viegas, Oliveira, & Aelenei, 2018), penghematan energy (Bahman, Rosario, & Rahman, 2012) maupun penempatan air curtain (Gonçalves, Costa, Figueiredo, & Lopes, 2012). Penelitian unsteady dapat dilakukan untuk mencari optimasi waktu yang diperbolehkan untuk membuka akses suatu ruangan agar udara dari luar tidak dapat melewati air curtain (Smith et al., 2013).



Gambar 1. Eksperimen Push pull ventilatio (R. F. Huang et al., 2005)

Variasi kecepatan yang terjadi diantara blower, suction dan aliran diluar ruangan akan menyebabkan perubahan karakteristik aliran. Kecepatan aliran fluida dari blower air curtain (v_b) dan kecepatan aliran keluar (v_s), harus lebih besar dibandingkan dengan aliran kecepatan aliran

fluida diluar ruangan. Kecepatan aliran yang berada di dekat daerah outlet suction akan semakin besar. Hal ini dibuktikan secara ekseprimen pada penelitian (R. F. Huang et al., 2005). Pada penelitian tersebut digunakan push pull ventilation seperti pada gambar 1.

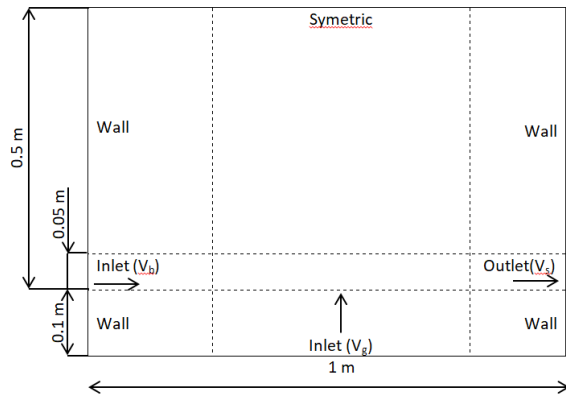
Karakteristik aliran pada air curtain dapat dipelajari melalui eksperimen maupun simulasi. penelitian secara eksperimen pada air curtain, menggunakan asap maupun mist uap (Rong Fung Huang, Chen, & Hung, 2013), untuk menunjukkan aliran fluida. Penelitian yang dilakukan secara simulasi memberikan hasil yang detail secara kualitatif dan kuatitatif. Namun hasil yang diperoleh dari simulasi harus di validasi terlebih dahulu dengan hasil eksperimen maupun simulasi penelitian lain. Hal ini dikarenakan pemilihan model turbulensi jumlah mesh dapat menimbulkan perbedaan hasil suatu simulasi. Dalam simulasi, meshing yang rapat belum tentu menghasilkan eror nilai yang lebih kecil (Setyono, n.d.).

Pada penelitian membahas pengaruh model turbulensi terhadap hasil simulasi air curtain. Perubahan karakteristik aliran fluida yang mengalir pada ruangan yang dibatasi oleh air curtain, juga dijelaskan pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini simulasi 2 dimensi dilakukan pada kondisi steady. Dalam simulasi ini model yang digunakan memiliki dimensi yang sama dengan eksperimen data eksperimen penelitian terdahulu (R. F. Huang et al., 2005). Fluida akan mengalir masuk melalui 2 sisi inlet, yang didefinisikan sebagai kecepatan inlet blower (v_b) dan kecepatan inlet gas (v_g). Kecepatan inlet blower masuk melalui celah selebar 0.05 m dengan kecepatan 0.3 m/s. Aliran udara di luar ruangan diasumsikan sebagai kecepatan gas dengan kecepatan sebesar 0.05 m/s. Selanjutnya fluida akan keluar melalui sisi outlet dengan kecepatan 5 m/s, yang di definisikan sebagai kecepatan suction (v_s).

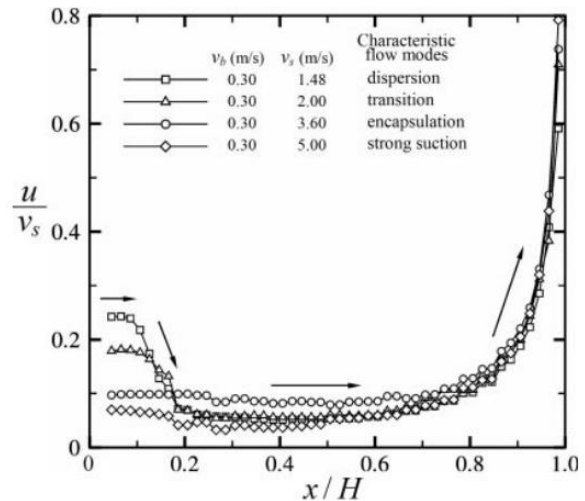
Dimensi dan boundary condition dari model di tampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Dimensi dan boundary condition simulasi

Fluida compressible yang mengalir adalah udara dengan densitas 1.25 kg/m³. Perubahan temperature dalam simulasi ini tidak diperhitungkan, sehingga persamaan energy ditiadakan. Dalam penelitian ini akan di variasikan model turbulensi aliran seperti pada table 1. Nilai turbulence intensity yang digunakan sebesar 0.1% dengan length scale sebesar 0.01m. Residual monitor pada simulasi ini diatur pada 10⁻⁴. Mesh yang digunakan adalah sebesar 2600 node.

Proses post processing yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membuat line pada $y = 0.125$ m. Kemudian akan diambil data kecepatan yang dinyatakan dalam u/v_s . Kemudian data kuantitatif tersebut akan divalidasi dengan hasil penelitian terdahulu pada gambar 3. Data kuantitatif yang akan diambil berupa vector kecepatan dan karakteristik aliran.



Gambar 3. Nilai u/v_s sebagai fungsi x/H pada $y = 0.125$ m dari eksperimen terdahulu (R. F. Huang et al., 2005)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Numerik

Tabel 1.

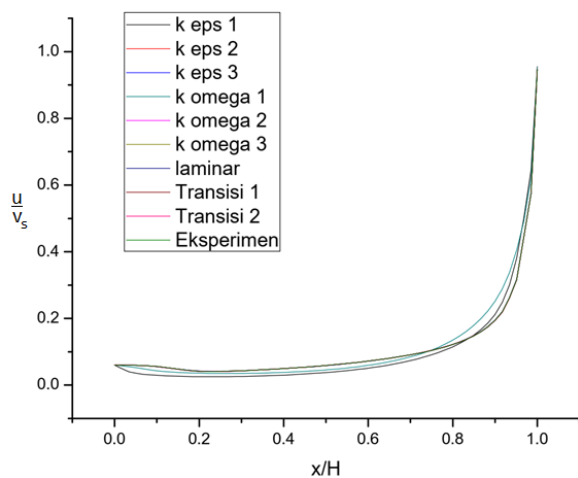
Boundary condition yang digunakan pada simulasi

Case	Model Turbulensi	kode
1	Laminar	Laminar
2	k-ε standart	k-epsilon 1
3	k-ε BSL	k-epsilon 2
4	k-ε SST	k-epsilon 3
5	k-ω standart	k-omega 1
6	k-ω BSL	k-omega 2
7	k-ω SST	k-omega 3
8	Transition k-kl-ω	Transisi 1
9	Transition SST	Transisi 2

Dalam penelitian ini, data kuantitatif dari hasil penelitian divalidasi dengan penelitian eksperimen terdahulu. Data kecepatan aliran pada $y = 0.0125$ m diubah menjadi bentuk u/v_s . Pada gambar 3, terdapat grafik validasi fungsi x/H terhadap fungsi u/v_s pada variasi model turbulensi air curtain. Nilai u/v_s yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan trendline yang sama dengan data eksperimen seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.

Perubahan model turbulensi yang digunakan dalam simulasi, menyebabkan perbedaan nilai eror simulasi. Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa model turbulensi k-ω standart dan k-ε standart, memiliki trendline yang sama dengan hasil eksperimen. Namun keduanya memiliki perbedaan nilai u/v_s ,

bila dibandingkan dengan u/v_s dari hasil eksperimen. Pada table 2 dapat dilihat bahwa model turbulensi $k-\omega$ Baseline (BSL) dan Transition $k-kl-\omega$ memiliki nilai eror yang rendah bila dibandingkan dengan model lain. Nilai eror yang dihasilkan oleh simulasi dengan model turbulensi $k-\omega$ standart dan $k-\epsilon$ standart cukup tinggi, bila dibandingkan dengan data eksperimen. Eror yang dihasilkan model turbulensi $k-\omega$ standart sebesar 31,47 %. Sedangkan nilai eror yang dihasilkan oleh model turbulensi $k-\epsilon$ standart adalah sebesar 47,59%.



Gambar 4. Validasi data hasil simulasi terhadap data eksperimen pada berbagai model turbulensi

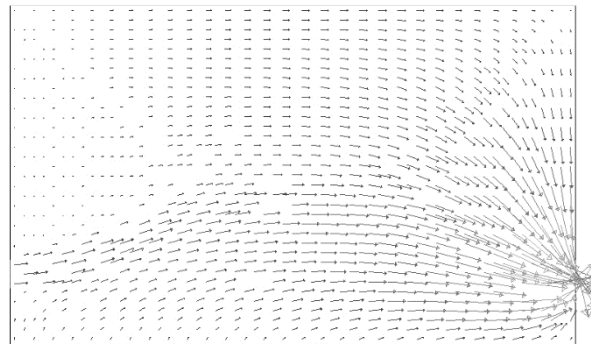
Tabel 2.

Boundary condition yang digunakan pada simulasi

Hasil Validasi	Model Turbulensi	Maksimum Error %
Sama dengan Eksperimen	$k-\omega$ BSL Transition $k-kl-\omega$	0.011 0.011
Perbedaan Nilai di beberapa titik	Laminar $k-\omega$ SST	0.188 0.262
Perbedaan nilai pada garis	Transition SST $k-\epsilon$ BSL $k-\epsilon$ SST	1.415 1.1114 2.002
Memiliki eror tinggi	$k-\epsilon$ standart $k-\omega$ standart	47.59 31.47

Hasil simulasi dapat digambarkan secara kualitatif dengan menggunakan vector kecepatan, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5. Karakteristik aliran dapat dijabarkan vector kecepatan aliran tersebut. Dari vector kecepatan aliran, dapat di perhatikan bahwa aliran fluida membentuk sebuah daerah ecapsulation yang berbentuk cembung. Kondisi ini terjadi akibat

kecepatan suction lebih besar apabila dibandingkan dengan kecepatan blower dan aliran udara diluar.



Gambar 5. Vektor kecepatan aliran pada air curtain

Pembahasan

Model turbulensi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap hasil simulasi numeric. Penggunaan model turbulensi $k-\omega$ standart dan $k-\epsilon$ standart menghasilkan eror yang tinggi dibandingkan dengan model turbulensi lain. Kedua model turbulensi tersebut terdiri dari 2 persamaan tambahan.

Model $k-\omega$ standart terdiri dari persamaan transportasi untuk energy kinetik (k) dan turbulence frequency (ω). Model turbulensi ini meninjau daerah dekat dinding lebih akurat pada Reynolds number rendah. Pada dasarnya persamaan ini cocok digunakan untuk kasus aliran transisi compressible, dengan kondisi gaya gesek (shear) diabaikan. Pada model turbulensi $k-\epsilon$ standart terdapat 2 persamaan turbulensi yang terdiri dari persamaan turbulent kinetic energy (k) dan persamaan kedua specific turbulent dissipation rate (ϵ). Persamaan dissipasi turbulence pada $k-\epsilon$ merupakan pengembangan dari persamaan turbulence frequency. Penggunaan $k-\epsilon$ cocok digunakan pada kasus adverse pressure gradient.

Dari penjelasan pada table 3 dapat dilihat bahwa penggunaan persamaan $k-\omega$ secara umum, menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan persamaan $k-\epsilon$. Pada kasus air curtain, turbulensi yang terjadi pada aliran tidak mendominasi hasil. Kondisi ini sesuai dengan perhitungan $k-\omega$ yang menghasilkan hasil yang teliti namun

tidak memberikan hasil sparasi aliran secara detail.

Pernggunaan persamaan Transition $k\text{-kl-}\omega$ dan Transitional SST cenderung menghasilkan nilai eror yang rendah apabila dibandingkan dengan persamaan lain. Persamaan Transition $k\text{-kl-}\omega$ terdiri dari 3 persamaan transportasi, namun eror yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibanding dengan penggunaan persamaan Transitional SST. Persamaan Transitional SST mempertimbangkan gaya gesekan yang terjadi disekitar dinding dan shear stress. Perhitungan yang dilakukan pada persamaan Transitional SST lebih banyak dan membutuhkan banyak iterasi. Pada simulasi ini residual yang dihasilkan oleh simulasi Transitional SST masih belum mencapai standart yang ditentukan yaitu 10⁻⁴.

Persamaan $k\text{-}\omega$ Baseline (BSL) merupakan persamaan baik untuk digunakan dalam menganalisa aliran freestream tanpa mengabaikan perhitungan aliran di dekat wall. Penggunaan persamaan $k\text{-}\omega$ Shear Stress Transport (SST) cocok apabila digunakan pada saat meninjau kondisi aliran yang berdekatan dengan dinding. Kedua persamaan menggunakan kombinasi persamaan Wilcox. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persamaan $k\text{-}\omega$ Baseline menunjukkan nilai eror yang sangat rendah. Iterasi yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi $k\text{-}\omega$ Baseline juga lebih sedikit bila dibandingkan model turbulensi lain. Kondisi ini terjadi karena penggunaan persamaan $k\text{-}\omega$ Baseline mengabaikan kondisi turbulensi di sekitar dinding.

Dasar dari perhitungan $k\text{-}\epsilon$ merupakan pengembangan dari persamaan turbulence frequency $k\text{-}\omega$. Turbulence disipasi diperoleh dari rata-rata fluktuasi disipasi kecepatan. Penggunaan perhitungan $k\text{-}\epsilon$ disarankan untuk persamaan yang berkaitan dengan vorticity dan sparasi. Perhitungan dengan persamaan $k\text{-}\epsilon$ dalam penelitian ini menghasilkan nilai eror yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan persamaan lain ditingkatnya. Penggunaan persamaan $k\text{-}\epsilon$ tidak menunjukkan hasil yang detail dari segi kuantitatif. Namun persamaan

$k\text{-}\epsilon$ dapat menghasilkan penggambaran kualitatif yang baik terutama pada aliran dengan sparasi.

Aliran fluida yang keluar dari daerah suction air curtain menunjukkan mass flow yang lebih besar bila dibandingkan dengan aliran masuk. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran yang keluar dari daerah suction lebih besar bila dibandingkan dengan kecepatan inlet. Aliran fluida yang masuk melalui inlet blower akan dibelokan oleh fluida yang masuk melalui inlet udara luar. Apabila tidak terdapat daerah suction yang dipasang sejajar dengan air curtain, aliran tersebut akan mengalir dan terseparasi ke dua arah. Dengan adanya daerah suction yang dipasang sejajar dengan inlet blower aliran yang seharusnya tersparasi berbelok dan keluar dari sisi suction.

KESIMPULAN

Penggunaan model turbulensi $k\text{-}\omega$ BSL dan Transition $k\text{-kl-}\omega$ cocok digunakan pada simulasi air curtain. Hal ini dikarenakan simulasi pada air curtain tidak menimbulkkan banyak separasi. Simulasi ini menunjukkan bahwa saat kecepatan suction outlet lebih besar dibandingkan dengan kecepatan inlet dari air curtain, akan terbentuk sebuah lekukan aliran yang membentuk ecapsulation.

REFERENCES

- Bahman, A., Rosario, L., & Rahman, M. M. (2012). Analysis of energy savings in a supermarket refrigeration/HVAC system. *Applied Energy*, 98, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.043>
- Gonçalves, J. C., Costa, J. J., Figueiredo, A. R., & Lopes, A. M. G. (2012). CFD modelling of aerodynamic sealing by vertical and horizontal air curtains. *Energy and Buildings*, 52, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.007>
- Guo, C., & Li, Y. (2012). The Effect of Air Curtain on Controlling Contaminants in Wards. 440, 1265–1270.

- <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.433-440.1265>
- Hu, L. H., Zhou, J. W., Huo, R., Peng, W., & Wang, H. B. (2008). Confinement of fire-induced smoke and carbon monoxide transportation by air curtain in channels. *Journal of Hazardous Materials*, 156(1–3), 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.041>
- Hu, S. C., Shiue, A., Tu, J. X., Liu, H. Y., & Chiu, R. Ben. (2015). Validation of cross-contamination control in biological safety cabinet for biotech/pharmaceutical manufacturing process. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 19264–19272. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5091-5>
- Huang, R. F., Lin, S. Y., Jan, S. Y., Hsieh, R. H., Chen, Y. K., Chen, C. W., ... Chen, C. C. (2005). Aerodynamic characteristics and design guidelines of push-pull ventilation systems. *Annals of Occupational Hygiene*, 49(1), 1–15. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh065>
- Huang, R. F., Wu, Y. D., Chen, H. D., Chen, C. C., Chen, C. W., Chang, C. P., & Shih, T. S. (2007). Development and evaluation of an air-curtain fume cabinet with considerations of its aerodynamics. *Annals of Occupational Hygiene*, 51(2), 189–206. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel051>
- Huang, Rong Fung, Chen, J. K., & Hung, W. L. (2013). Flow and containment characteristics of a sash-less, variable-height inclined air-curtain fume hood. *Annals of Occupational Hygiene*, 57(7), 934–952. <https://doi.org/10.1093/annhyg/met011>
- Setyono, G. (n.d.). STUDI NUMERIK PENGARUH BILANGAN REYNOLDS TERHADAP PERPINDAHAN PANAS MELINTASI SILINDER STAGGERED METODE TURBULEN K- Ω SST 2-D UNSTEADY REYNOLDS AVERAGED NAVIER STOKES (URANS) (Studi kasus untuk $Re_d = 4,42 \times 10^5$; $1,77 \times 10^5$ dan Heat Flux 500 W/m^2).
- Smith, E. B., Raphael, I. J., Maltenfort, M. G., Honsawek, S., Dolan, K., & Younkins, E. A. (2013). The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination. *Journal of Arthroplasty*, 28(9), 1482–1485. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.06.012>
- Tseng, L. C., Huang, R. F., & Chen, C. C. (2008). Effects of doorsill jet injection on fume cupboard containment. *Annals of Occupational Hygiene*, 52(7), 635–644. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men045>
- Viegas, J. C., Oliveira, F., & Aelenei, D. (2018). Experimental study on the aerodynamic sealing of air curtains. *Fluids*, 3(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/fluids3030049>
- Yang, S., Alrawashdeh, H., Zhang, C., Qi, D., Wang, L. (Leon), & Stathopoulos, T. (2019). Wind effects on air curtain performance at building entrances. *Building and Environment*, 151(November 2018), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.032>