

PERANCANGAN SISTEM BUKA-TUTUP PINTU GESER KOMPAK PADA BUSWAY

Tono Sukarnoto, Soeharsono, Supriyadi

Jurusan Teknik Mesin Universitas Trisakti
Jl Kiai Tapa no 1, Jakarta, 11440
tsukarnoto@trisakti.ac.id

Abstrak

Salah satu ciri khas armada busway di Jakarta adalah ukuran pintu penumpang yang berukuran ekstra lebar. Jenis pintu yang digunakan bervariasi mulai dari pintu lipat, pintu geser dan pintu ayun dalam. Pintu geser pada busway saat ini banyak memakan ruang sehingga menghambat pergerakan penumpang di dalam bus. Untuk mengatasinya telah dirancang pintu geser kompak dengan total tebal dinding termasuk daun pintu 9 cm yang ditinjau dari segi struktur kekuatannya sudah memadai (Sukarnoto 2012). Salah satu masalah yang harus dipecahkan untuk rancangan pintu baru ini adalah sistem pergerakan buka tutup. Daun pintu harus bisa bergeser lancar pada celah dinding bus dengan kelonggaran yang relatif kecil tetapi mempunyai panjang langkah mendekati satu meter. Kecepatan gerak membuka dan menutup oleh aktuator harus memadai serta memenuhi syarat keamanan bagi penumpang. Konstruksinya harus kuat, tangguh dan dapat bertahan lama pada kondisi operasi busway yang cukup berat dalam hal, frekuensi buka-tutup dan jumlah penumpang yang banyak. Memperhatikan jenis-jenis pintu geser yang sudah ada pada busway saat ini serta memperhatikan beberapa referensi sistem buka-tutup pintu geser lain maka dirancanglah suatu sistem buka-tutup pintu geser mengikuti metode VDI 2221. Dari hasil analisis varian diperoleh konsep rancangan terbaik berupa sistem pergeseran dengan penggerak aktuator silinder pneumatik dikombinasikan mekanisme puli pada setiap daun pintu dan dipasang di bagian atas. Hal ini untuk meningkatkan aspek keamanan dalam keadaan darurat dibandingkan dengan penggunaan satu aktuator secara bersama untuk dua pintu. Panjang langkah geser masing-masing daun pintu 95 cm, sebagai tumpuan digunakan roda dan rel di bagian bawah dan *roll* pengarah di atas pintu serta pemasangan batangan teflon sebagai kontak gesek bila terjadi defleksi yang membuat daun pintu bagian tengah bersentuhan dengan celah bodi. Sebagai pengendali digunakan sistem elektro pneumatik 24 V dengan koil-relai.

Keywords: pintu geser, buka tutup, busway, perancangan konsep, VDI2221, aktuator

Pendahuluan

Sebagai moda transportasi yang didedikasikan sebagai angkutan cepat masal (*bus rapid transit*, BRT), manfaat busway terasa semakin penting. Hal ini berkaitan pula dengan penghapusan rute bus kota reguler yang beririsan dengan rute busway, sehingga ketergantungan masyarakat pada moda transportasi ini meningkat. Seiring berjalannya waktu armada dan jumlah koridor busway di Jakarta terus bertambah, saat ini mencapai 11 koridor dengan armada 524 unit bus (www.transjakarta.co.id, 2012). Tipe bus sangat bervariasi mulai dari merek sasis dan bodinya, namun ciri khasnya tetap, yaitu pintu ekstra lebar di dua sisi dan susunan tempat duduk hadap ke tengah. Jenis bus yang awalnya hanya bus tunggal ditambah dengan bus

gandeng (*articulated bus*) yang kapasitas angkutnya 2 kali lebih besar. Kekhasan busway di DKI yang belum ada di daerah lain adalah penggunaan bus berbahan bakar gas dengan transmisi otomatis.

Konsep busway umumnya mengacu pada standar BRT. Salah satu persyaratan pada standar BRT menyatakan bus gandeng harus mempunyai 3 atau lebih pintu dan bus tunggal mempunyai 2 pintu lebar (ITDP, 2012). Awalnya untuk bus tunggal pintu utama hanya satu tapi dengan ukuran ekstra lebar (1,8 m), pada generasi berikutnya ditambah satu pintu standar di bagian belakang. Khusus bus gandeng, sejak awal sudah memenuhi standar BRT dengan 3 pintu lebar.

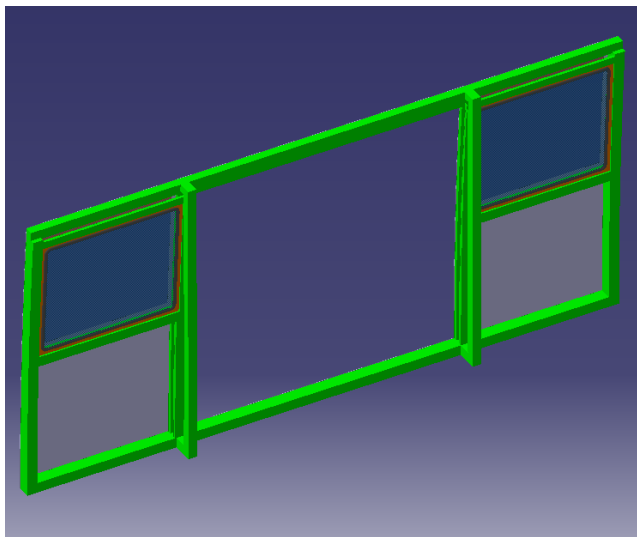
Model pintu yang dipakai juga bervariasi, generasi pertama menggunakan pintu lipat ganda, generasi kedua pintu geser dan berubah lagi menjadi pintu ayun

dalam. Masing-masing model pintu mempunyai kelebihan dan kekurangan, makalah ini hanya membahas model pintu geser.

Permasalahan pada bodi busway sebetulnya cukup banyak, salah satunya pada bus dengan pintu geser adalah posisi pintu memakan tempat cukup luas sehingga menghalangi pergerakan penumpang di dalam bus. Posisi daun pintu yang berada di sisi dalam dinding bus ternyata sangat menyita ruangan. Lebar gang antar kursi di sekitar pintu geser berkurang sekitar 30 cm karena posisi kursi di bagian tersebut harus digeser agak ke tengah (Haris, 2009).

Dengan berjalannya waktu, konstruksi mekanisme pintu terbukti kurang kuat, terlihat dari gerakan buka tutup yang kurang lancar, bahkan beberapa kali terlihat rel di atas pintu terlepas dari bodi dan aktuator silinder pneumatik sudah tidak terpasang sebagaimana mestinya.

Penelitian sebelumnya telah menghasilkan rancangan pintu geser kompak dengan posisi daun pintu masuk ke dalam dinding bus (Gambar 1). Tebal dinding di bagian pintu tidak lebih dari 90 mm (Sukarnoto, 2011). Sebagai kelanjutannya, penelitian ini akan mencari konsep rancangan mekanisme gerak untuk pintu geser kompak tersebut.



Gambar 1. Pintu geser kompak (Sukarnoto 2012).

Pintu Busway

Jenis pintu utama busway bervariasi mulai dari pintu lipat, pintu geser dan pintu ayun dalam (Gambar 2). Semuanya berupa pintu ganda yaitu untuk satu lubang terdapat sepasang pintu. Pintu ini dioperasikan secara semi otomatis dengan tombol elektrik dari panel pengemudi dan penggeraknya menggunakan aktuator pneumatik (Sukarnoto, 2011).

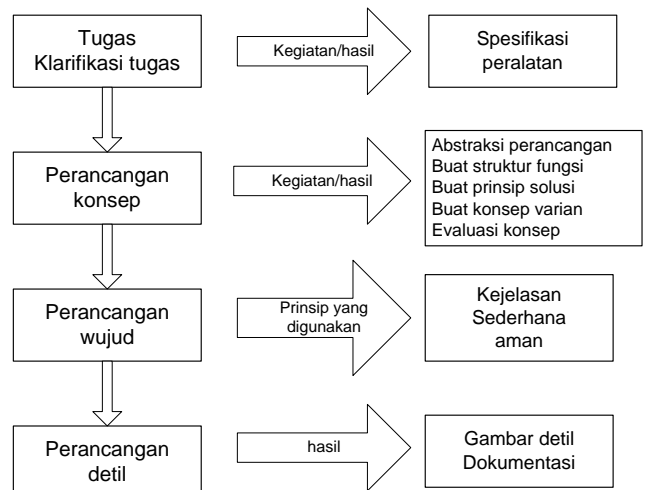
Perancangan Mengikuti VDI2221 (Pahl, 1984)

Secara umum, tahapan perancangan ini ditunjukkan pada Gambar 3 yang meliputi klarifikasi tugas, membuat perancangan konsep, membuat perancangan

wujud dan perancangan detail. Perancangan lebih ditekankan kepada perancangan konsep, yang aktivitasnya meliputi membuat abstraksi perancangan, membuat struktur fungsi, mencari prinsip solusi yang bersesuaian dengan struksi fungsi. Prinsip solusi dikombinasikan menjadi beberapa konsep varian di mana masing-masing konsep varian dapat bekerja sesuai dengan struktur fungsi yang dibuat. Langkah akhir adalah mengevaluasi seluruh konsep varian sehingga dihasilkan satu rancangan konsep optimum.



Gambar 2. Armada busway dengan pintu ayun dalam (atas), pintu lipat (tengah) dan pintu geser (bawah).



Gambar 3. Sistematika perancangan sesuai dengan VDI 2221 (Pahl - Beitz 1984)

Dalam langkah klarifikasi tugas, perancang dihadapkan kepada beberapa pertanyaan kritis dan mendasar sehingga apa yang dirancang menjadi jelas. Sebagai contoh adalah beberapa pertanyaan berikut

ini: Problem nyata apa yang dituntut dalam tugas perancangan, hasil apa yang diharapkan, hal-hal apa yang dimiliki dan tidak dimiliki oleh perancangan tersebut. Selanjutnya dikumpulkan sebanyak mungkin informasi tentang kebutuhan (*demand*) yang harus dipenuhi oleh peralatan dan keinginan (*wishes*) dari pengguna. Informasi tersebut disusun dalam bentuk daftar spesifikasi peralatan.

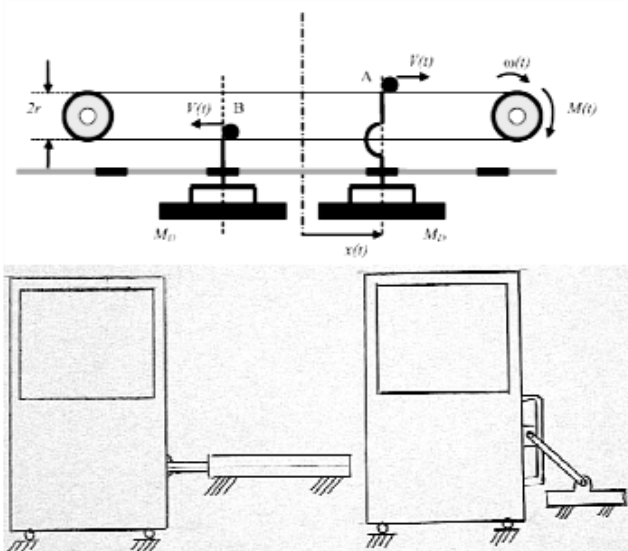
Metoda Penelitian

Penelitian dimulai dari pengamatan mekanisme pintu geser yang ada pada busway yang beroperasi di Jakarta sampai Juli 2012, serta studi literatur untuk mekanisme lain yang biasa diterapkan pada angkutan masal. Tahap dilanjutkan perancangan sistem buka tutup untuk pintu geser kompak mengikuti sistematika perancangan VDI 2221.

Hasil dan Pembahasan

Mekanisme Pintu Geser Saat Ini

Dari pengamatan di lapangan terdapat tiga jenis mekanisme pintu geser yang diaplikasikan pada armada busway saat ini. Pertama mekanisme langsung, ujung batang silinder pneumatik disambung kaku dengan tepi pintu (Gambar 4 kiri bawah). Secara konstruksi mekanisme ini kurang tepat karena terlalu kaku dan terlalu banyak pengekanan. Daun pintu dan batang silinder menjadi satu benda yang bergerak translasi lurus. Pada banyak kasus ditemui ikatan baut silinder ke dinding bus terlepas atau sengaja dilepas karena lintasan daun pintu tidak lagi lurus.



Gambar 4. Mekanisme pintu geser yang telah ada. Atas, mekanisme pintu geser dengan puli dan sabuk (de Luca 2008), kiri bawah, silinder pneumatik dihubungkan langsung ke pintu dan pneumatik rotari dengan mekanisme *sliding* (kanan bawah).

Mekanisme kedua menggunakan aktuator rotari pneumatik dengan lengan putar dan *sliding* pada daun

pintu. Mekanisme ini terpasang pada unit bus dengan bodi buatan Korindo (Gambar 4, kanan bawah). Secara konstruksi mekanisme ini lebih baik karena aktuator tidak tersambung kaku dengan daun pintu. Mekanisme kedua dan pertama menempatkan aktuator pada sisi dalam dinding bus antara lantai dengan kaca, sehingga tidak dapat diterapkan untuk pintu geser yang masuk di dalam dinding bus.

Mekanisme ketiga adalah sistem puli dan sabuk dengan aktuator silinder pneumatik yang terpasang di bagian atas pintu (gambar 4 atas). Posisi mekanisme ini berada di atas pintu.

Klarifikasi Tugas

Sebelum membuat daftar spesifikasi peralatan, perancang dihadapkan pada beberapa pertanyaan yang sifatnya mendasar dan kritis di bawah ini yang harus dijawab terlebih dahulu: Apa fungsi dari peralatan? Untuk itu apa saja yang harus dirancang? Bagaimana karakteristik dari peralatan yang dirancang.

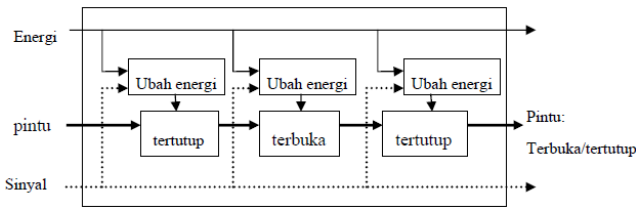
Jawabannya adalah: Fungsi, digunakan untuk menggeser daun pintu agar terbuka atau tertutup. Yang harus dirancang adalah mekanisme penggerak daun pintu, penentuan aktuatornya dan mekanisme penopang daun pintu.

Selanjutnya dibuat spesifikasi menyeluruh dari peralatan yang dirancang yang meliputi geometri, kinematika, gaya, energi, material, sinyal, keselamatan, produksi, kontrol kualitas, perakitan, pengoperasian, perawatan dan biaya. Setiap spesifikasi dikelompokkan sesuai dengan kebutuhannya yang meliputi kelompok *demand* (D) yaitu persyaratan yang harus dipenuhi oleh peralatan dan kelompok *wishes* (W) yaitu persyaratan tambahan berupa keinginan dari perancang ataupun pengguna. Persyaratan ini diurut menurut derajat prioritas dan sedapat mungkin disajikan secara kuantitatif. Dengan demikian ada kejelasan tentang spesifikasi peralatan yang akan dibangun. Daftar spesifikasi untuk peralatan yang dirancang ditunjukkan pada Tabel 1.

Struktur Fungsi

Sinyal input dari panel pengemudi dan input energi berupa udara tekan atau energi listrik sedangkan outputnya berupa gerakan pintu membuka atau menutup. Energi input diubah menjadi energi mekanik yang menghasilkan gerakan linear. Agar terjadi perubahan tersebut diperlukan mekanisme penggerak serta mekanisme pengarah dan penopang untuk menahan berat daun pintu yang diteruskan ke rangka bodi bus dalam arah vertikal dan lateral. Blok diagram struktur fungsi ditunjukkan dalam Gambar 5.

Dari struktur fungsi kemudian disusunlah prinsip solusi masing-masing untuk sub fungsi pengubah energi, mekanisme penopang dan sinyal kendali yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Blok diagram struktur fungsi

huruf	Prinsip Solusi	1	2	3	4
A	Energi / Penggerak	Udara tekan	24 V Listrik DC 24V		
B	Elektrik/Pneumatik → Mekanik	M	Silinder pneumatik rotari	Silinder pneumatik	
C	Jumlah aktuatur	Independen, satu atuatur satu daun pintu 1 for 1	Satu aktuatur untu sepasang daun pintu 1 for 2		
D	Mekanik → Mekanik translasi	Sabuk dan puli 1	Sabuk puli 2	Rack pinion	Silinder pneumatik langsung
E	Mekanisme penopang	Penopang atas dengan kontak sliding di tengah	Penopang bawah dengan kontak sliding di tengah		
F	Kendali	Koil - relay & katup solenoid	Koil relay		

Gambar 6. Prinsip solusi penggerak dan penopang pintu geser kompak.

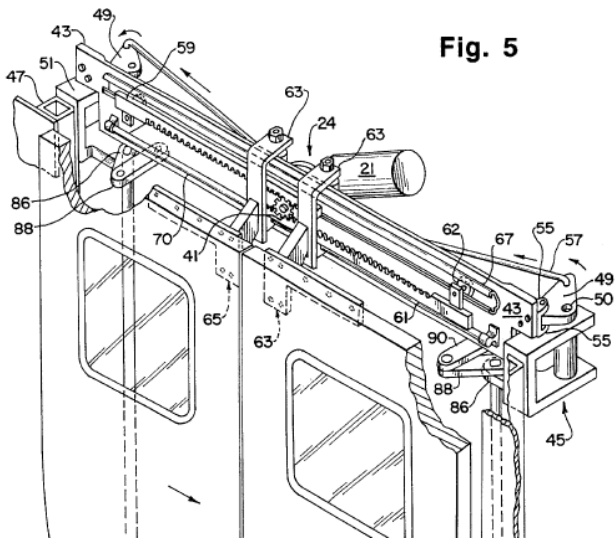
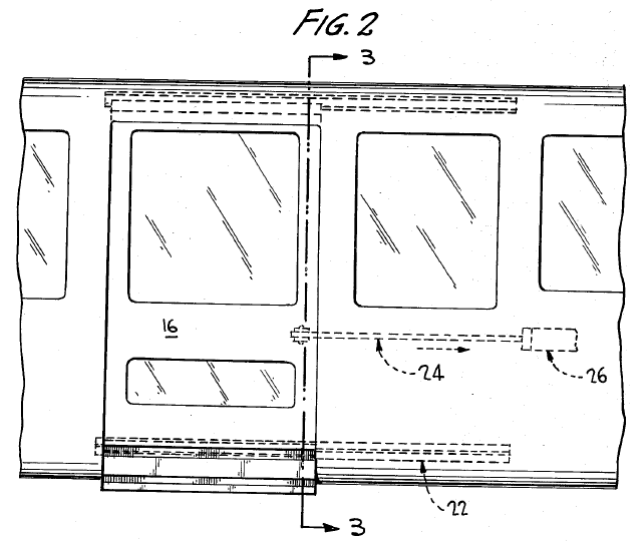


Fig. 5

Gambar 7. Sistem buka-tutup pintu dengan sistem rack pinion. (Zweili, 1996)

Untuk pengubahan energi mekanik – mekanik penggerak pintu terdapat empat pilihan solusi yaitu, dua jenis mekanisme sabuk puli, rack pinion dan silinder pneumatik langsung. Pada mekanisme sabuk puli yang pertama puli berotasi dan bergerak translasi dengan panjang langkah setengah panjang langkah pintu. Mekanisme ini sudah diterapkan pada beberapa unit busway. Mekanisme sabuk puli yang kedua puli

hanya berotasi dan sepasang pintu mengikuti gerakan sabuk atas dan bawah sehingga arah translasinya berlawanan.



Gambar 8. Buka-tutup pintu dengan aktuatur silinder pneumatik (Anderson, 1981).

Contoh mekanisme rack pinion dan silinder pneumatik sebagai penggerak pintu kendaraan transit ditunjukkan pada gambar 7 dan 8.

Dari pilihan prinsip solusi yang tersedia, selanjutnya dilakukan penggabungan prinsip solusi pada setiap tahap sub fungsi yang menghasilkan 8 konsep varian (KV) sebagai berikut:

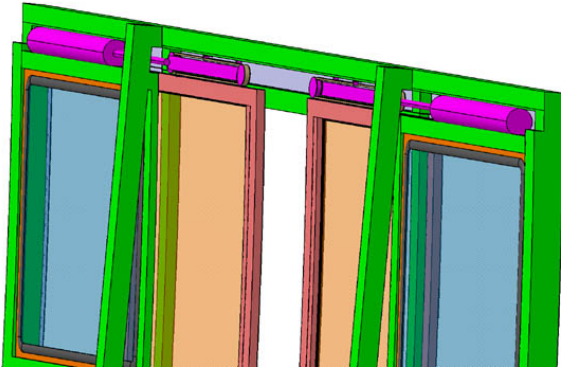
- KV1: A1 → B3 → C1 → D4 → E1 → F1
- KV2: A1 → B2 → C1 → D3 → E1 → F1
- KV3: A1 → B2 → C2 → D2 → E2 → F2
- KV4: A1 → B3 → C2 → D2 → E2 → F2
- KV5: A1 → B3 → C1 → D1 → E2 → F2
- KV6: A1 → B3 → C2 → D1 → E2 → F2
- KV7: A2 → B1 → C2 → D3 → E2 → F2
- KV8: A2 → B1 → C2 → D2 → E2 → F2

Penggabungan harus memerhatikan kesesuaian antar sub fungsi. Misalnya energi udara tekan (A1) tidak bisa digabung dengan motor listrik (B1) untuk menghasilkan energi mekanik atau B2 tidak bisa dihubungkan dengan D4. Hal inilah yang membatasi jumlah varian yang mungkin untuk diwujudkan.

Evaluasi Konsep Varian Secara Kualitatif dan Kuantitatif

Terhadap konsep varian KV1 sampai KV8 dilakukan evaluasi secara kualitatif (Tabel 2) dan diperoleh 3 varian yang memenuhi yaitu KV4, KV5 dan KV7. Kemudian dilakukan evaluasi kuantitatif dalam aspek operasi, konstruksi, kemudahan produksi dan keamanan dalam bentuk pohon obyektif. Bobot nilai parameter dari pohon obyektif digunakan untuk melakukan evaluasi kuantitatif pada Tabel 3. Dari perhitungan pada Tabel 3, bobot nilai tertinggi 7,85 diperoleh varian KV5, disusul KV7 dan KV4. Sehingga varian KV5 yang dipilih untuk tahapan

perancangan selanjutnya.



Gambar 9. Varian terpilih sistem penggerak dengan silinder pneumatik dan dua puli setiap pintu.

Sketsa susunan mekanisme penggerak untuk varian KV5 ditunjukkan pada Gambar 9. Masing-masing daun pintu digerakkan oleh silinder pneumatik melalui dua puli. Satu puli untuk gerakan membuka dan yang lain untuk menutup. Dalam keadaan darurat daun pintu dapat dibuka-tutup secara independen. Roda penopang pintu dipasang di bagian bawah, sedangkan di atas terdapat susunan *roll* pengarah. Di bagian tengah pintu sisi luar dipasang batangan teflon sebagai kontak gesek dengan celah bodi apa bila pintu terdefleksi ke sisi luar.

Kesimpulan

Telah dibuat konsep rancangan penggerak pintu geser kompak busway dengan metode VDI2221. Sistem penggerak yang terpilih menggunakan sistem sabuk dan puli dengan penggerak silinder pneumatik yang semua perangkatnya dipasang di atas pintu. Mekanisme penopang pintu untuk bobot arah vertikal menggunakan roda di bagian bawah pintu dan penopang arah lateral menggunakan roll di bagian atas pintu.

Ucapan Terima kasih

Makalah ini adalah bagian dari penelitian yang dibiayai Program Desentralisasi Dikti- Usakti, Hibah Bersaing 2012, kontrak no: 017/K3.KU/2012.

Referensi

Anderson, Bruce H. Vehicle Door, US Patent, patent number: 4,272,923 (1981)

de Luca, Roberto. Sliding Doors, Revista Brasileira de Ensino de Fisica, v. 30, n. 3, pp 3303 2, www.sbfisica.org.br (2008)

Haris, Oscar. Rancang Ulang Susunan Tempat Duduk Busway untuk Optimalisasi Ruang, Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Usakti, Jakarta (2009).

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). The BRT Standard ver 1,0, New York (Januari 2012)

Pahl, G & W Beitz, Engineering Design, Springer-Verlag, London (1984)

Sukarnoto, Tono, Perancangan Pintu Geser Busway yang Lebih Kompak, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin VI, Universitas Kristen Petra, Surabaya 16 Juni 2011, 16-22 (2011).

www.transjakarta.co.id, 2012, tentang kami, akses 18 September 2012.

Zweili, Door Drive Equipment for Mass Transit Vehicle, US Patent, patent number: 5,483,769 (1996)

Tabel 1. Daftar Spesifikasi

	DAFTAR SPESIFIKASI	D/W
Geometri	Sesuai dimensi pintu busway	D
	Panjang langkah min 90 cm	D
	Posisi peralatan di atas pintu	W
	Posisi peralatan di samping dinding	W
Kinematika	Gerakan daun pintu translasi horizontal	D
	Durasi langkah buka/tutup maksimal 5 detik	W
	Mekanisme dapat digerakkan dengan mendorong daun pintu	D
Gaya	Cukup kuat untuk menggeser pintu, dengan kecepatan memadai	D
	Pembatas gaya bila ada benda terjepit daun pintu	W
Energi	Telah tersedia di unit bus	D
	Udara tekan 5 - 8 bar	W
	Daya listrik DC 24 V	W
Material	Komponen tersedia di pasaran	D
	Fabrikasi komponen spesifik mudah dilakukan di dalam negeri	W
Sinyal	Elektrik 24 V	D
	Input buka	D
	Input tutup	D
Perawatan	Tidak memerlukan perawatan khusus	D
Perakitan	Mudah dibongkar pasang	W
Pengoperasian	Mampu berfungsi pada siklus operasi yang tinggi setiap hari	D
	Mampu menahan getaran dari bodi bus	D
	Umur teknis operasional 2 tahun atau lebih	W
Biaya	Proporsional dengan kualitas komponen/ material	D
Keselamatan dan ergonomi	Tidak membahayakan penumpang	D
	Pintu dapat dibuka secara manual dalam keadaan darurat	D
	Tidak menimbulkan suara berisik	W

Tabel 2 Pemilihan Kombinasi Varian

Mekanisme Pintu Geser	Pemilihan Kombinasi Varian								
	Varian solusi dievaluasi dengan kriteria solusi (+) Ya (-) Tidak (?) Kekurangan informasi (!) Periksa spesifikasi						Keputusan tanda solusi varian (+) Mengikat solusi (-) Menghilangkan solusi (?) Mengumpulkan informasi (!) Memeriksa spesifikasi		
	Sesuai dengan fungsi keseluruhan Sesuai dengan daftar kehendak Secara prinsip dapat diwujudkan Dalam batasan biaya produksi Pengetahuan tentang konsep memadai Sesuai dengan keinginan pembuat Memenuhi syarat keamanan								
	A	B	C	D	E	F	G	PENJELASAN	H
KV1	+	+	+	+	+	-	-	Keandalan kurang	-
KV2	+	+	-	-	+	+	+	Terlalu mahal	-
KV3	+	+	+	+	+	-	-	Keandalan diragukan	-
KV4	+	+	+	+	+	+	+	sesuai	+
KV5	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai	+
KV6	+	+	+	+	+	+	-	Keandalan diragukan	-
KV7	+	+	+	+	+	+	+	sesuai	+
KV8	+	+	+	-	+	+	-	Keandalan diragukan	-

Tabel 3. Kriteria Evaluasi

KRITERIA EVALUASI				VARIAN KV 4			VARIAN KV 5			VARIAN KV 7			
No	Kriteria	Parameter	Wt	Evaluasi	Nilai	Bobot	Evaluasi	Nilai	Bobot	Evaluasi	Nilai	Bobot	
1	Respons cepat	Durasi langkah	0,15	Cukup singkat	8	1,2	Cukup singkat	8	1,2	Cukup singkat	8	1,2	
2	Tidak mudah macet	Probabilitas macet	0,15	Agak rendah	6	0,9	Lebih rendah	8	1,2	Rendah	7	1,05	
3	Tidak banyak makan tempat	volume ruang	0,09	Sedikit	8	0,72	Agak banyak	7	0,63	Sedikit	8	0,72	
4	Kekuatan memadai	Kekuatan struktur	0,12	Cukup kuat	7	0,84	Kuat	8	0,96	Cukup kuat	8	0,96	
5	Tidak perlu perawatan khusus	Kemudahan perawatan	0,036	Mudah	8	0,288	Mudah	8	0,288	Mudah	8	0,288	
6	Frekuensi penggantian komponen rendah	Frekuensi penggantian komponen	0,054	jarang	8	0,432	Jarang	8	0,432	Jarang	8	0,432	
7	Mudah diproduksi	Kemudahan diproduksi	0,06	Cukup mudah	8	0,48	Cukup mudah	8	0,48	Agak sulit	7	0,42	
8	Mudah dirakit	Kemudahan dirakit	0,08	Mudah	8	0,64	Mudah	8	0,64	Agak sulit	7	0,56	
9	Komponen mudah diperoleh	Kemudahan memperoleh	0,06	Mudah	7	0,42	Mudah	7	0,42	Mudah	7	0,42	
10	Aman bagi peralatan	Keamanan	0,08	Aman	7	0,56	Aman	8	0,64	Aman	7	0,56	
11	Aman bagi penumpang	keamanan	0,12	Aman	8	0,96	Aman	8	1,08	Aman	8	0,96	
JUMLAH			1,00	JUMLAH			7,44	JUMLAH			7,85	JUMLAH	7,57