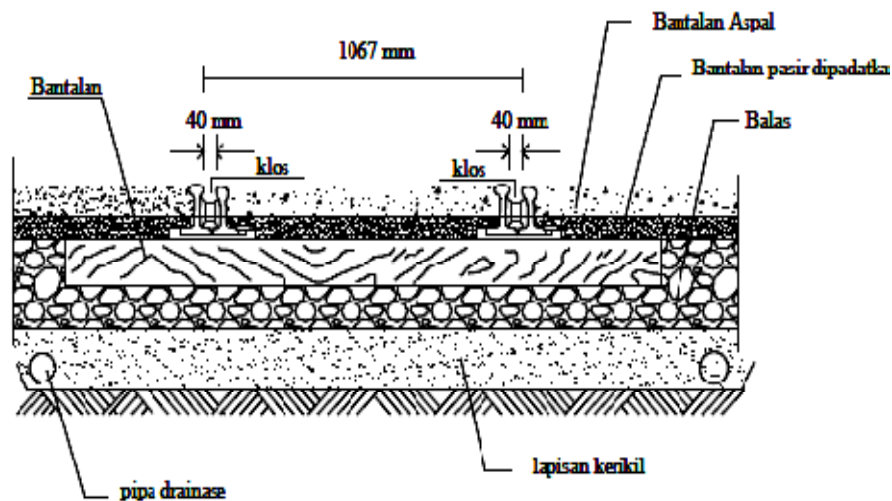


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 (PM No.60 tahun 2012) lapisan balas pada dasarnya adalah lapisan yang meneruskan beban dari bantalan menuju ke lapisan tanah dasar yang terletak pada daerah yang mengalami konsentrasi tegangan terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih. Lapisan balas berfungsi untuk menahan gaya vertikal (*cabut/uplift*), lateral dan longitudinal yang dibebankan oleh bantalan, sehingga bantalan dapat mempertahankan jalan rel pada posisi yang disyaratkan (Rosyidi, 2015).



Gambar 2. 1 Struktur jalan rel (Haq dan Tunafiah, 2015)

Dalam era modern saat ini banyak dikembangkan struktur balas dengan beberapa tambahan material guna meningkatkan pelayanan balas dan memperpanjang umur dari balas. Upaya dalam memperbaiki jalur rel kereta api dengan daya tahan yang baik adalah dengan menggunakan tipe struktur *slab track*. *Slab track* mempunyai karakteristik yang lebih kuat dan kokoh, namun kendala utamanya ada pada biaya pembangunan yang sangat tinggi, sehingga mencapai dua kali lipat jika dibandingkan dengan jalan rel konvensional, untuk itu muncul ide baru mengenai stabilisasi balas dengan menggunakan aspal (Setiawan dkk., 2013). Penggunaan karet ban bekas untuk salah satu metode stabilisasi yang

digunakan terikat pada partikel balas, hal ini sangat memungkinkan untuk meningkatkan daya tahan pada lapisan balas karena sifat elastis yang dimiliki oleh karet, selain itu penggunaan karet ban bekas juga bertujuan untuk mengurangi limbah ban kendaraan yang semakin hari semakin meningkat (Sanchez dkk., 2015). Penambahan karet bekas dan aspal dapat meningkatkan durabilitas balas (D'Angelo dkk., 2016 dan Sanchez dkk., 2015).

Penyusun memaparkan beberapa penelitian terdahulu yang relevan terhadap permasalahan yang diteliti:

1. D'Andrea dkk. (2012) melakukan penelitian dengan menggunakan ukuran balas yang bervariasi. Metode yang dilakukan adalah dengan membandingkan beberapa jenis material dari jalan rel dengan modifikasi campuran karet. Hasil menunjukkan bahwa penambahan material karet akan membantu meredam getaran yang diakibatkan oleh beban dinamis yang diterima ketika jalan rel dioperasikan.
2. Sanchez dkk. (2014) melakukan penelitian dengan tujuan menganalisis penempatan material karet yang paling fungsional pada struktur jalan rel. Terdapat 3 penempatan lembaran karet bekas yaitu pertama ditempatkan antara rel dan bantalan, kedua ditempatkan antara rel dengan bantalan dan bantalan dengan material balas, sedangkan yang terakhir menempatkan lembaran karet bekas antara lapisan balas dengan lapisan sub-balas. Hasil menunjukkan bahwa penempatan paling fungsional adalah diantara bantalan dan lapisan balas, disamping memberikan nilai elastisitas pada bantalan juga mengurangi keausan material karena benturan antara material balas satu dengan yang lainnya yang diakibatkan adanya penyaluran beban dari struktur lapisan atas ke struktur lapisan dibawahnya.
3. Sanchez dkk. (2014) dengan menggunakan karet ban bekas. Persentase ban bekas yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 5%, 10%, 20% dan 30% berdasarkan volume benda uji. Untuk pengujiannya, peneliti menggunakan *ballast box* berdimensi 460 mm x 200 mm x 300 mm. Hasil menunjukkan bahwa balas dengan campuran 5% dan 10% karet ban bekas dapat mengurangi deformasi dari balas, di sisi lain karet ban

bekas juga dapat meningkatkan umur layanan pada balas, sehingga tidak membutuhkan biaya perawatan yang besar. Dengan demikian penggunaan karet ban bekas sebagai agregat elastis dapat dengan tepat mengurangi kerusakan jalur yang terkait dengan penipisan lapisan balas.

4. Sanchez dkk. (2015) melakukan penelitian dengan tujuan menganalisis pengaruh penambahan material potongan karet bekas pada konstruksi balas. Tujuan penelitiannya adalah mencari prosentase optimal karet bekas yang dapat dicampurkan kedalam sebuah box yang terisi balas. Prosentase potongan karet bekas (*crumb rubber*) yang digunakan adalah 5%, 10%, 20%, dan 30% dari volume benda uji. Selanjutnya dilakukan pengujian tekan dengan beban sebesar 200 kPa dan 300 kPa guna mendapatkan *settlement*, *stiffness*, *dissipated energy*, dan *particle breakage*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh campuran karet bekas optimum adalah 10% dengan menunjukkan angka *settlement* yang lebih rendah dan pada saat yang sama mengurangi kerusakan pada material balas.
5. D'Angelo dkk. (2016) memodifikasi lapisan balas untuk mengurangi deformasi yang terjadi serta biaya perawatan. Dua macam balas yang digunakan yakni balas bersih dan balas kotor (balas yang masih mengandung kadar lumpur) sedangkan variasi kadar aspal yang digunakan sebanyak 2% dan 3% dari berat total benda uji. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah berdasarkan metode *PUMA (Presicion Unbound Material Analyser)* berupa silinder dengan tinggi 150 mm dan diameter 150 mm. Metode pemadatan yang digunakan adalah pemadatan manual dan pemadatan menggunakan *vibrator hammer*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil sebagai berikut, antara lain: (1) Metode pemadatan menggunakan *vibrator hammer* dapat mengurangi deformasi yang lebih baik namun dengan penggunaan material balas kotor. (2) Dengan penggunaan aspal emulsi sebanyak 3% memiliki nilai kekakuan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan 2% terlepas dari metode pemadatan, sedangkan hasil pengujian menggunakan 2% BE

dapat mengurangi deformasi sebanyak 50% dan meningkatkan kekakuan sekitar 20%.

6. D'Angelo dkk. (2017) melakukan penelitian dengan menambahkan material aspal emulsi pada konstruksi balas rel. Pencampuran material dilakukan pada bagian balas rel, antara bantalan dan lapisan atas balas metode pecampuran menggunakan metode *dry process* dan menerapkan proses tamping pada pematatannya. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu penambahan aspal emulsi pada struktur balas meningkatkan durabilitas material balas, menurunkan *settlement* material balas karena menjadi material yang terikat, dan material aspal emulsi dapat mengisi rongga-rongga pada material balas sehingga pada proses tamping lebih memudahkan untuk mempercepat pematatannya.
7. Navaratnarajah dkk. (2017) melakukan penelitian menggunakan bahan elastis material karet yang dijadikan hamparan (tikar karet). Rata-rata secara keseluruhan deformasi lapisan balas terjadi saat karet dihamparkan pada bagian bawah material balas menurun sekitar 35% - 45%. Ditinjau dari ketahanannya juga mempunyai nilai yang lebih tinggi yakni sebesar 50% - 60%. Hal ini berpengaruh terhadap umur layanan pada lapisan balas karena semakin sering dilakukannya pemeliharaan.
8. Bressi dkk. (2018) melakukan penelitian menggunakan bahan aspal dan karet bekas yang dicampurkan sebagai material penyusun subbalas. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan karet dan aspal dapat meningkatkan sifat elastis dari sub balas, akan tetapi penggunaan karet dan aspal yang berlebihan akan memberikan kelemahan ketika beban bekerja pada jalan rel.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Material Balas

Balas adalah lapisan struktur granular / butiran agregat yang terdapat pada bagian sub-struktur jalan rel yang terdiri dari gradasi yang beragam dengan ketahanan yang baik (PM No.60 tahun 2012) sebagai berikut: Lapisan balas, mempunyai fungsi utama yakni untuk menyediakan fondasi yang solid dan seragam untuk bantalan, mengirimkan dan mengurangi tekanan dari kereta yang

lewat ke tingkat yang dapat diterima untuk subgrade, menyediakan drainase yang memadai, memberikan tingkat elastisitas yang diinginkan dan tingkat kebisingan dan getaran yang rendah (D'Angelo dkk., 2016; Indraratna dkk., 2017 dan Sanchez dkk., 2015). Kualitas jalan rel/*track* dapat ditinjau dari berbagai aspek, salah satu diantaranya adalah kualitas material yang digunakan pada kinerja jalan rel. Jika kualitas jalan rel memenuhi spesifikasi maka jalan rel dapat menjadikan jalan rel aman dan nyaman (Setiawan dan Rosyidi, 2016)

Beberapa jenis batuan penyusun lapisan balas menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 (PM No.60 tahun 2012) adalah sebagai berikut:

1. Material balas merupakan batu pecah dengan ukuran 25-60 mm mempunyai ketahanan dan lahan gesek yang baik serta kemudahan dalam pemadatan.
2. Material balas yang digunakan berasal dari batu pecah (*crushed stone*) dan mempunyai sudut yang tajam dan panjang.
3. Mempunyai porositas maksimal 3%.
4. Mempunyai kuat tekan maksimum rata-rata 1000 kg/cm².
5. Berat jenis minimum 2,6.
6. Kandungan tanah, lumpur, dan organik maksimum 0,5%.
7. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
8. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan mesin *Los Angeles* keausan agregat tidak boleh lebih dari 25%.
9. Kemiringan pada lereng lapisan balas tidak boleh lebih curam dari 1:2.
10. Bahan balas dihampar hingga mencapai sama dengan elevasi bantalan.

Pengujian agregat yang dilakukan mengacu pada badan standardisasi nasional (BSN), adapun beberapa tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi material balas adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian untuk mengetahui nilai berat jenis curah kering (*Bulk*), nilai berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*), nilai berat jenis semu (*Apperance*), dan nilai penyerapan air (*Absorbtion*). Acuan yang

digunakan adalah BSN (2008a) tentang metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

Pengujian ini dilakukan untuk konversi dari berat dan volume bahan, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$a. \text{ Berat jenis curah kering (Bulk), } S_d = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), } S_s = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu (Apperance), } S_a = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$d. \text{ Penyerapan air (Absorbtion), } S_w = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

A adalah berat benda uji kering oven (gram)

B adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C adalah berat benda uji dalam air (gram)

2. Pengujian kadar lumpur

Menurut BSN (1996) menerapkan persyaratan kadar lumpur untuk agregat. Identifikasi kadar lumpur bertujuan untuk memperoleh banyaknya butiran lempung yang menggumpal serta mudah pecah yang melekat pada agregat. Pada Tabel 2. 1 disajikan persyaratan untuk berat agregat minimum dalam keadaan kering.

Tabel 2. 1 Ketentuan berat kering minimum benda uji (BSN, 1996)

Ukuran Agregat	Berat Kering Minimum Benda Uji (gram)
No. 4 (4,75 mm) - $\frac{3}{8}$ " (9,50 mm)	1000
$\frac{3}{8}$ " (9,50 mm) - $\frac{3}{4}$ " (19,00 mm)	2000
$\frac{3}{4}$ " (19,00 mm) - $1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	3000
$\geq 1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	5000

Kadar lumpur yang sudah diuji dan didapatkan parameternya, dapat diketahui persentasenya pada persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$P = \frac{(W-R)}{W} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

P = Lempung yang menggumpal dan butiran mudah pecah (%)

W= Berat dari benda uji (gram)

R = Berat benda uji kering karena dioven yang tertahan pada saat penyaringan basah (gram)

3. Keausan Agregat Balas dengan mesin *Los Angeles*

Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk mengetahui ketahanan suatu agregat terhadap keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Acuan yang digunakan adalah BSN (2008b) tentang cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles*. Untuk menghitung keausan agregat dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan,

a adalah berat benda uji semula (gram)

b adalah berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram)

4. Analisa Saringan Agregat

Pemeriksaan material dengan metode analisis saringan ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran dari butir-butir material. Metode pengujian untuk analisis saringan dilakukan sesuai BSN (2012) dan untuk klasifikasi kelas jalan rel sebaran material balasnya menggunakan PD No 10 (1986) yang terdapat pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Persyaratan gradasi untuk material balas (PD No 10, 1986)

Ukuran Nominal	Persen Lolos Saringan									
	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8
2½" - ¾"	100	90 - -	25 - 60	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-	-
2" - 1"	-	100	96 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-
1½" - ¾"	-	-	100	- 100	20 15	0 - 15	-	0 - 5	-	-

2.2.2. Potongan Karet Ban Bekas

Karet memiliki sifat elastis yang dapat berfungsi sebagai pelindung dan meminimalisir adanya kontak langsung antar material balas, menambah daya

tahan lapisan balas serta mengurangi getaran yang berasal dari rel kereta api, akan tetapi karet tidak tahan terhadap pemanasan suhu sehingga karet dapat digolongkan sebagai material termoplastis (Sanchez dkk., 2014). Penggunaan karet yang berlebih mempengaruhi kurangnya nilai kepadatan yang dihasilkan yang langsung berpengaruh terhadap turunnya nilai modulus (Signes dkk., 2016).

Menurut Navaratnarajah dkk. (2017), menyatakan bahwa secara keseluruhan deformasi lapisan balas terjadi saat karet dihamparkan pada bagian bawah material balas menurun sekitar 35% - 45%. Ditinjau dari ketahanannya juga mempunyai nilai yang lebih tinggi yakni sebesar 50% - 60%. Hal ini berpengaruh terhadap panjangnya umur layanan pada lapisan balas karena pemeliharaan yang sering dilakukan.

2.2.3. Aspal

1. Berat Jenis Aspal

Menurut BSN (2011a) Pemeriksaan berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25°C atau 15,6°C). Massa aspal yang dimasukkan ke dalam piknometer minimal 4 gram.

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

A adalah massa piknometer dan penutup;

B adalah massa piknometer dan penutup berisi air;

C adalah massa piknometer, penutup dan benda uji;

D adalah massa piknometer, penutup, benda uji dan air.

2. Penetrasi Aspal

Penetrasi aspal dianalisis untuk menentukan perlakuan aspal yang konsisten, semakin tinggi nilai penetrasinya, semakin lunak kondisi aspal tersebut. Penetrometer adalah sebuah alat ukur penetrasi, dimana aplikasinya disaat aspal mencapai suhu tertentu (BSN, 2011b).

Pengaruh yang lebih besar terhadap nilai penetrasi suatu bahan aspal adalah faktor berat total, ukuran pada sudut serta permukaan jarum

yang halus, dan suhu serta waktunya. Namun, jika beberapa variabel tersebut tidak ditentukan maka pengaturannya adalah pemakaian suhu 25 °C, berat total 100 gram, dan waktunya selama 5 detik. Pada kondisi lain digunakan ketentuan khusus seperti pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Ketentuan untuk kondisi aspal pada pengujian khusus (BSN, 2011b)

Temperatur (°C)	Berat total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

3. Pengujian daktilitas aspal

Sifat daktail atau elastis pada aspal perlu diuji dengan mengetahui jarak terpanjang pada aspal keras dengan suhu 25 °C dituang ke dalam cetakan daktilitas dan ditarik pada dua bagian dengan mesin pengujian daktilitas yang mempunyai kecepatan 50 mm/menit (BSN, 1991).

4. Kehilangan Minyak

Metode pengujian dengan BSN (1991).

$$\text{Hitungan Penurunan Berat} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

A = berat benda uji semula

B = berat benda uji setelah pemanasan

5. Titik Lembek Aspal

Titik lembek ialah temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu, medesak turun lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada jarak 25,4 mm. Titik lembek aspal diketahui antara suhu 30°C hingga 80°C. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian ini dinyatakan dengan *Celcius* (BSN, 2011d).

2.2.4. Metode Kuat Tekan

Metode kuat tekan adalah kekuatan yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan dan berupa besarnya gaya yang diterima oleh suatu bahan persatuan (Tjokrodimuljo, 1996). Pengujian ini dapat dilakukan pada semua benda padat yang akan mengalami perubahan bentuk jika diberi pembebanan. Hal ini sangat bergantung pada besarnya beban yang diterima, unsur kimia maupun kondisi fisik material pada benda uji, suhu, kecepatan pembebanan, serta sifat mekanik beban uji tersebut. Analisis sifat pada campuran balas dengan menggunakan mesin *Micro-computer UTM (Universal Testing Machine)* merupakan pengujian untuk mengetahui parameter seperti nilai deformasi, Tegangan (σ), Regangan (ϵ), perubahan panjang dan pembebanan.

Dari keempat data tersebut dapat memberikan penjelasan tentang besarnya deformasi yang terjadi dengan menarik garis pada sebuah grafik antara pembebanan dengan perubahan panjang. Selain itu nilai modulus elastisitas juga dapat diketahui dengan membandingkan nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan dari hubungan antara dua sumbu yaitu sumbu Y yang mewakili tegangan (σ) dan sumbu X yang mewakili regangan (ϵ).

Untuk pengujian kuat tekan ini mengacu pada BSN (2011) mengenai tata cara uji tekan beton. Berikut adalah perhitungan uji tekan pada modifikasi balas:

1. Menentukan nilai regangan dengan persamaan berikut

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (2.9)$$

Keterangan:

ϵ = regangan (%)

ΔH = perubahan tinggi benda uji yang dibaca dari arloji ukur (cm)

H_0 = Tinggi benda uji awal (cm)

2. Menentukan nilai tegangan aksial (σ) pada setiap nilai pembebanan dari pembacaan arloji ukur (*dial gauge*) dengan persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.10)$$

Keterangan:

σ = tegangan (kPa)

P = beban aksial yang bekerja (kN)

A = luas benda uji (cm²)

3. Menentukan nilai modulus elastisitas benda uji (E) dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.11)$$

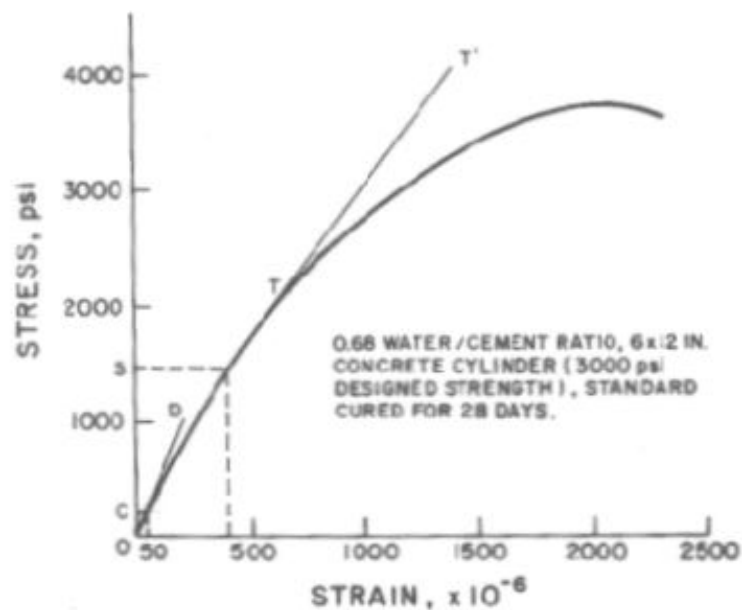
Keterangan:

E = modulus elastisitas (MPa)

σ = Tegangan leleh (kPa)

ε = Regangan leleh (%)

Dengan hasil *output* data berupa tegangan dan regangan, kemudian data tersebut diolah dalam bentuk grafik untuk menentukan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu bahan dengan cara membandingkan tegangan yang bekerja pada suatu bahan dengan regangan yang dihasilkan maka semakin besarnya nilai modulus elastisitas maka bahan tersebut semakin keras/kaku (Soleman, 2005). Jika diaplikasikan pada sebuah grafik, nilai modulus elastisitas dapat ditetapkan dari perhitungan kemiringan (*slope*) grafik tegangan dan regangan, seperti yang tersaji pada Gambar 2. 3 berikut.



Gambar 2. 3 Plot dari diagram tegangan regangan untuk mengetahui kemiringan kurva E_c (Modulus elastisitas beton) (Soleman, 2005)

