

## SAMENVATTING

Overstromingen van rivieren vormen een groot probleem in Jakarta: zodra de stortregens naar beneden komen, verschijnen de hartverscheurende verhalen over de gevolgen hiervan in de media. Het merendeel van deze overstromingen doet zich voor tijdens de natte maanden december, januari en februari. De meest recente grote overstroming vond plaats in januari 2013 en veroorzaakte een economische schade die wordt geschat op US\$ 3 miljard, met bovendien 47 dodelijke slachtoffers en meer dan 100.000 verwoeste of beschadigde huizen. Andere grote overstromingen in de 21e eeuw deden zich voor in 2002 en 2007, met een geschatte directe schade van respectievelijk US\$ 1,5 miljard en US\$ 890 miljoen.

De kans is groot dat de schade door rivieroverstromingen in de toekomst zal toenemen. Verschillende omgevings- en sociaaleconomische factoren zijn hierop van invloed, zoals veranderingen in landgebruik, klimaatverandering, bodemdaling, verstedelijking en een toename van het aantal mensen dat in overstromingsgevoelige gebieden leeft. Het is daarom erg belangrijk en noodzakelijk dat Jakarta maatregelen neemt om schade en andere negatieve gevolgen van overstromingen in te perken. Dit kan worden bereikt door goed overstromingsrisicobeheer, waarbij overstromingsrisico verwijst naar de kans op een overstroming vermenigvuldigd met de gevolgen ervan. Drie elementen spelen een rol bij overstromingsrisico (UNISDR, 2013): gevaar, dat verwijst naar een “...dangerous phenomenon, substance, human activity or condition that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, loss of livelihoods and services, social and economic disruption, or environmental damage”; blootstelling, dat verwijst naar “...people, property, systems, or other elements present in hazard zones that are thereby subject to potential losses”; en kwetsbaarheid, die verwijst naar “...characteristics and circumstances of a community, system or asset that make it susceptible to the damaging effects of a hazard”. Voor elk van deze elementen of een combinatie ervan kunnen verschillende maatregelen worden genomen om het overstromingsrisico in te perken. Voor het ontwikkelen van een effectief overstromingsrisicobeheer zijn methoden nodig waarmee we zowel het huidige als het toekomstige overstromingsrisico kunnen inschatten, inclusief het risico dat kan worden vermeden door maatregelen te nemen die overstromingsrisico's beperken.

De drie doelstellingen van dit proefschrift zijn: (a) het ontwikkelen van een model om het overstromingsrisico van rivieren in Jakarta te kunnen bepalen; (b) het gebruik van dit model om de impact van fysische en sociaaleconomische factoren op overstromingsrisico's te kunnen bepalen; en (c) het gebruik van het model om de impact van verschillende aanpassingsmaatregelen op overstromingsrisico's te kunnen bepalen. Om deze doelstellingen te kunnen bereiken, wordt in dit proefschrift antwoord gegeven op de volgende onderzoeksvragen:

- Kunnen we een model ontwikkelen waarmee we het overstromingsrisico van rivieren in Jakarta snel kunnen bepalen, en hoe goed is dit model in staat de daadwerkelijk ontstane schade te simuleren?
- Hoe gevoelig is het overstromingsrisicomodel voor het gebruik van verschillende kwetsbaarheidscurven?
- Wat zijn de mogelijke toekomstige veranderingen met betrekking tot het overstromingsrisico van rivieren in Jakarta als gevolg van klimaatverandering, bodemdaling en verandering van landgebruik?
- In hoeverre kan het overstromingsrisico in Jakarta onder huidige en toekomstige omstandigheden worden verminderd door het upgraden en installeren van poldersystemen, en wat zijn de kosten en baten hiervan?
- In hoeverre kunnen we het potentiële overstromingsrisico in Jakarta verminderen door de

implementatie van het op sms gebaseerde Flood Early Warning System (FEWS) voor de vroegtijdige waarschuwing van burgers voor overstromingen?

Damagescanner-Jakarta is een model waarmee een snelle inschatting kan worden gemaakt van overstromingsrisico's in Jakarta, op basis van gegevens over gevaar, blootstelling en kwetsbaarheid. In dit model wordt de mate van gevaar bepaald met behulp van kaarten die de omvang en diepte van overstromingen met een verschillende kans en uiteenlopende ernst laten zien. Blootstelling wordt bepaald op basis van kaarten over landgebruik, waarbij aan elke categorie landgebruik een maximale waarde van de schade in US Dollars (US\$) is toegekend. Deze waarde is de potentiële schade die in het geval van een overstroming kan optreden voor elk type landgebruik. Kwetsbaarheid wordt bepaald op basis van kwetsbaarheidscurven, die de relatie tussen overstromingsdiepte en schade vastleggen.

Hoofdstuk 2 beschrijft de ontwikkeling, het gebruik en de validatie van Damagescanner-Jakarta. Hiervoor zijn overstromingskaarten, die ontwikkeld zijn met behulp van het 1D/2D SOBEK hydrologische model, dat de hydrologische situatie van Jakarta in 2017 voorstelt. Blootstelling wordt weergegeven door de officiële landgebruikskaart van Jakarta in 2002. In 2012 is in een workshop en een aantal expertmeetings de geschatte maximale potentiële schade door overstromingen voor elk type landgebruik bepaald. Tijdens dezelfde workshop en expertmeetings zijn ook kwetsbaarheidscurven voor elk type landgebruik ontwikkeld, gebaseerd op de kennis en expertise van lokale professionals. Op basis hiervan wordt de verwachte jaarlijkse schade (EAD) door rivieroverstromingen in Jakarta geschat op US\$ 321 miljoen per jaar (Hoofdstuk 2). De gesimuleerde schade is daarmee vergelijkbaar met de daadwerkelijk gerapporteerde schade in 2002 en 2007. Ook de spreiding van schade wat betreft verschillende typen landgebruik is vergelijkbaar met de gerapporteerde schade. Deze bevindingen geven vertrouwen voor het gebruik van Damagescanner-Jakarta in de latere Hoofdstukken.

In Hoofdstuk 3 wordt Damagescanner-Jakarta op enkele onderdelen verbeterd. In de eerste plaats worden overstromingskaarten uit een geactualiseerde schematisering van het 1D/2D SOBEK hydrologische model gebruikt. Deze versie bevat ook de beschermingsmaatregelen tegen overstromingen die tussen 2007 en 2013 zijn geïmplementeerd, inclusief sluizen en waterkeringen en het recent voltooide Eastern Flood Canal. Ten tweede is een recentere kaart gebruikt voor het bepalen van blootstelling, namelijk de officiële kaart van landgebruik uit 2009. Met de geupdate versie van het model wordt de verwachte jaarlijkse schade (EAD) geschat op US\$ 186 miljoen. Een redelijke schatting, gezien de veranderingen in de hydrologische en hydraulische omstandigheden in de tussenliggende periode. Om die reden is het geupdate model in Hoofdstuk 3 gebruikt als baseline voor het voorspellen van toekomstige overstromingsrisico's in 2030 en 2050, en voor het bepalen van de effectiviteit van maatregelen om overstromingsrisico's te verminderen in Hoofdstukken 4 en 5.

Eén van de voornaamste uitdagingen in de ontwikkeling van Damagescanner-Jakarta was het bepalen van de kwetsbaarheidscurven. Vanwege het gebrek aan lokale gegevens over kwetsbaarheid, maken veel studies naar overstromingsrisico's gebruik van kwetsbaarheidscurven die zijn ontwikkeld voor andere steden. Om die reden is in deze studie gebruik gemaakt van de kwetsbaarheidscurven van vijf bestaande studies, uitgevoerd in Zuid-Oost Azië. Uit de resultaten blijkt dat de geselecteerde curve van grote invloed is op de implementatie; er is een factor 8 verschil in gesimuleerde EAD bij het gebruik van verschillende curves. In het kader van deze studie zijn daarom op maat gemaakte curves ontwikkeld tijdens een workshop en expertmeetings met lokale stakeholders. De gesimuleerde schade op basis van deze curves bleken dichterbij de daadwerkelijk gerapporteerde schade te liggen dan het geval was bij gebruik van curves uit andere studies. Deze bevinding heeft belangrijke gevolgen voor het bepalen van overstromingsrisico's wereldwijd, omdat hieruit blijkt dat de selectie, het ontwikkelen en het testen van kwetsbaarheidscurven om grote nauwkeurigheid vraagt.

In Hoofdstuk 3 wordt Damagescanner-Jakarta gebruikt om overstromingsrisico's in Jakarta in 2030 te bepalen, onder verschillende scenario's van klimaatverandering (zowel veranderingen in neerslag als stijging van de zeespiegel), bodemdaling, verandering van landgebruik en economische ontwikkeling. Als we al deze scenario's combineren, is de mediane verwachte stijging van het overstromingsrisico tussen baseline en 2030 180% (+111% tot +262% voor de 5e tot 95e percentielen). De factor die de grootste bijdrage levert aan de toename van het algehele risico is bodemdaling; bodemdaling alleen leidt tot een toename van +126%. De invloed van veranderingen in neerslag alleen is erg onzeker (-94% tot +104% voor de 5e tot 95e percentielen). Het signaal van zeespiegelverandering door klimaatverandering is helder: in de analyse van twee scenario's van zeespiegelstijging (hoog en laag), laten de resultaten zien dat er door stijging van de zeespiegel alleen een toename van overstromingsrisico's is van +7% en +20% in 2030. En als de verandering van landgebruik doorgaat in hetzelfde tempo als in de periode 1980-2009, kan dit leiden tot een stijging van het risico van +45% in 2030. Echter, bij een "ideaal" scenario voor verandering van landgebruik, dat ervan uitgaat dat het officiële Jakarta Spatial Plan 2030 volledig wordt geïmplementeerd, kan het risico worden teruggebracht met -12%. De conclusie van Hoofdstuk 3: terwijl de invloed van klimaatverandering op neerslagintensiteit in de regio onzeker is, is de toename van overstromingsrisico's altijd groot wanneer dit wordt gecombineerd met andere risicofactoren. Daarom zijn maatregelen om overstromingsrisico's te verminderen absoluut noodzakelijk, ongeacht klimaatscenario.

In Hoofdstuk 4 en 5 wordt Damagescanner-Jakarta gebruikt voor het onderzoeken van de potentiële risicoreductie door twee maatregelen, namelijk een poldersysteem in Hoofdstuk 4 en een op sms gebaseerd Flood Early Warning System (FEWS) in Hoofdstuk 5.

In 2012 zijn plannen ontwikkeld voor het implementeren van een poldersysteem. Dit zou betekenen dat het noordelijke deel van Jakarta wordt opgedeeld in 66 polders. Met behulp van Damagescanner-Jakarta is de potentiële risicoreductie door dit systeem onderzocht, en is het vermeden risico (baten) vergeleken met een globale inschatting van de kosten (Hoofdstuk 4). Een dergelijke kosten-batenanalyse is uitgevoerd voor elke polder, zowel onder de huidige omstandigheden als onder toekomstscenario's voor klimaatverandering, verandering in landgebruik en bodemdaling. Uit de resultaten blijkt dat de implementatie van het poldersysteem het overstromingsrisico aanzienlijk zou kunnen verminderen, in vergelijking met het huidige risico. De baten-kostenratio is groter dan 1,0 bij 21 van de 66 polders onder de huidige omstandigheden en bij 31 van de 66 polders onder het toekomstscenario (met een herhalingsstijd van 2 jaar). In de huidige situatie, zelfs als de polders zijn ontworpen voor een herhalingsstijd van 2 jaar, zouden ze het risico met 25% kunnen verminderen. In het toekomstscenario zou het systeem het risico met 52% kunnen verminderen. Veel van deze risicoreductie kan worden bereikt door slechts 3 polders aan te leggen in gebieden landinwaarts. Deze 3 polders dragen bij tot 50% van de totale risicovermindering onder de huidige omstandigheden en 31% van de risicoreductie in het toekomstscenario. Het aanleggen van 9 van de polders kan het risico verminderen met 56% onder de huidige omstandigheden en met 81% onder het toekomstscenario. De studie toont ook aan hoe belangrijk het is om toekomstige omstandigheden in overweging te nemen bij het plannen van dergelijke structurele maatregelen met een lange levensduur, aangezien de algehele voordelen van de projecten veel groter zijn wanneer de mogelijke toekomstige veranderingen worden opgenomen.

Hoofdstuk 5 gaat over de potentiële risicoreductie door de implementatie van het op sms gebaseerde Flood Early Warning System (FEWS). Als bewoners op tijd waarschuwingen ontvangen, kunnen zij maatregelen nemen om de potentiële schade te verminderen. Denk aan het verplaatsen van waardevolle spullen naar hoger gelegen plekken of het verplaatsen van motorvoertuigen naar een gebied dat buiten het potentiële overstromingsgebied ligt. Door gebruik van resultaten van een enquête onder inwoners langs de Pesangrahan rivier in zuid en west Jakarta, zijn de kwetsbaarheidscurven aangepast om te

laten zien hoeveel schade er voorkomen kan worden door de inwoners zelf. Die curves werden vervolgens gebruikt in Damagescanner-Jakarta. Uit de analyse komt naar voren dat het FEWS het overstromingsrisico kan verminderen met 1.9% in een realistisch scenario en 12% in een optimistisch scenario. Het realistische scenario gaat uit van het percentage huishoudens dat volgens de enquête momenteel al risicoverminderende maatregelen neemt. Het optimistische scenario gaat ervan uit dat alle huishoudens risicoverminderende maatregelen nemen naar aanleiding van de waarschuwing. Als we de berekeningen beperken tot woonwijken, dan is de potentiële reductie 13% in het realistische scenario en 84% in het optimistische scenario. Daar moet wel bij worden gezegd dat het FEWS nog steeds een hypothetisch systeem is en dat de aanpak in dit Hoofdstuk sterk vereenvoudigd is. Het laat echter wel zien dat risicoreductie mogelijk is tegen relatief lage kosten.

Naast de ontwikkeling van het model, gaat dit proefschrift in op de mogelijke toepassing van de resultaten in de praktijk door de overheid, private sector en burgers. Stakeholders in Jakarta kunnen Damagescanner-Jakarta zelf en de kaarten voor overstromingsrisico's die daaruit voortvloeien gebruiken om meer inzicht te krijgen in overstromingsrisico's in bepaalde gebieden. Om precies te zijn wordt het model momenteel al gebruikt in Jakarta: CTC-N/UNEP (Project Number 65800016) maakte mogelijk dat DHI en het Jakarta Research Council het model en de kaarten kunnen gebruiken om overstromingsrisico's in verschillende polders inzichtelijk te maken. Dit leidde tot aanbevelingen voor beleid op het gebied van overstromingsbeheer op het niveau van de polders. De resultaten kunnen ook waardevolle informatie verstrekken aan burgers in overstromingsgevoelige gebieden, bijvoorbeeld over hoe zij door zelf in te grijpen schade aan hun eigendommen kunnen verminderen of voorkomen. Zo is in Hoofdstuk 5 aangetoond dat het nemen van maatregelen naar aanleiding van het Flood Early Warning System (FEWS) de schade aan iemands eigendommen kan verminderen. Wat klimaatverandering betreft, is de invloed daarvan op de neerslagintensiteit in de regio erg onzeker. Maar in combinatie met de andere factoren is de toename van het risico tot 2030 altijd groot. Daarom is het nemen van aanpassingsmaatregelen noodzakelijk, ongeacht klimaatscenario. De toepassing van het model om de potentiële risicoreductie te bepalen die zou kunnen worden bereikt door de implementatie van het polderstelsel en een op sms gebaseerd Flood Early Warning System, zijn twee concrete voorbeelden van maatregelen die kunnen worden genomen om overstromingsrisico's te verminderen. De effectiviteit van andere maatregelen zou onderwerp kunnen zijn van toekomstige studies.

Tenslotte beschrijft dit proefschrift de belangrijkste beperkingen en geeft het aanbevelingen voor toekomstig onderzoek. Ten eerste zijn de scenario's voor het uitvoeren van voorspellingen voor de toekomst ad hoc geselecteerd, omdat officiële scenario's voor veranderingen op het gebied van klimaat en milieu in Jakarta ontbreken. Onze aanbeveling is dat de ontwikkeling van officiële scenario's voor Jakarta (of zelfs Indonesië) een prioriteit voor toekomstig onderzoek zou moeten zijn. In de tweede plaats beoordeelt dit proefschrift de gevoeligheid van overstromingsrisico's voor verschillende variabelen, maar is er geen formele onzekerheidsanalyse uitgevoerd. In toekomstige studies zou het nuttig zijn om een poging te doen om de onzekerheid van de risicoschattingen vast te leggen in een groot aantal modelparameters, bijvoorbeeld met behulp van Monte Carlo-modellerings technieken. In de derde plaats focust dit proefschrift zich alleen op het overstromingsrisico van rivieren. In Jakarta is daarnaast ook sprake van kustoverstromingen en wateroverlast door toename van neerslag. In toekomstige studies zou het risico van al deze verschillende soorten overstromingen moeten worden onderzocht, zowel afzonderlijk als wanneer ze gelijktijdig optreden (zogeheten compound flooding). Ten vierde is de weergave van de kwetsbaarheid met behulp van static kwetsbaarheidscurven in dit proefschrift een grote vereenvoudiging en omvat het geen sociale kwetsbaarheid of veranderingen in kwetsbaarheid in de loop van de tijd. De ontwikkeling van toekomstige voorspellingen van (sociale) kwetsbaarheid is een onderzoeksprioriteit voor overstromingsrisico's als geheel, niet alleen in Jakarta. En als laatste zijn enkele vereenvoudigingen doorgevoerd in de simulatie van de effectiviteit van de

polderstelsels en het op sms gebaseerde Flood Early Warning System. Daarom moeten deze resultaten worden beschouwd als een eerste, globale inschatting. Meer in het algemeen is de overstromingsrisicobeoordeling uitgevoerd met een ruimtelijke resolutie van 50m x 50m; toekomstige studies zouden baat hebben bij het gebruik van een meer gedetailleerde modelleringsresolutie.

Ondanks deze beperkingen blijkt uit dit proefschrift dat Damagescanner-Jakarta in staat is om een goede inschatting te maken van huidige en toekomstige overstromingsrisico's en de effectiviteit van verschillende risicoverminderende maatregelen. Het wordt dan ook aangeraden om Damagescanner-Jakarta te gebruiken voor het onderzoeken van de effectiviteit van andere risicoverminderende maatregelen in Jakarta. Als onderdeel van de National Capital Integrated Development (NCICD) ontwikkelt en implementeert Jakarta bijvoorbeeld een gigantische zeewering om overstromingen aan de kust te voorkomen; werkzaamheden aan de rivier worden ingepland of uitgevoerd in het kader van het Jakarta Urgent Flood Mitigation Project / Jakarta Emergency Dredging Initiatives (JUFMP / JEDI); kanalen moeten het overtollige water afvoeren van de Ciliwung naar het Eastern Flood Canal; en hooggelegen retentiemeren zijn gepland in Ciawi. Deze maatregelen zouden met Damagescanner-Jakarta kunnen worden onderzocht, om te bepalen in hoeverre zij zouden kunnen bijdragen aan het verminderen van overstromingsrisico's.